



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

ESTG

DIAGNÓSTICO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO ESCOLAR COM RECURSO A ANÁLISE TERMOGRÁFICA

2016

Francisco Armando Moreira da Silva



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

# DIAGNÓSTICO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO ESCOLAR COM RECURSO A ANÁLISE TERMOGRÁFICA

Francisco Armando Moreira da Silva

Escola Superior de Tecnológica e Gestão





**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

**Francisco Armando Moreira da Silva**

# **DIAGNÓSTICO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO ESCOLAR COM RECURSO A ANÁLISE TERMOGRÁFICA**

**Mestrado em  
Engenharia Civil e do Ambiente**

**Trabalho realizado sob a orientação do  
Professor Doutor José Manuel Ferreira da Silva  
e coorientação  
Professor Doutor António José Candeias Curado**

**Outubro de 2016**



## **MEMBROS DO JÚRI**

### **Presidente**

Professor Doutor Pedro da Silva Delgado

### **Arguente**

Professora Doutora Cristina Madureira dos Reis

### **Orientador**

Professor Doutor José Manuel Ferreira da Silva

### **Coorientador**

Professor Doutor António José Candeias Curado



## Agradecimentos

Um permanente agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor José Manuel Ferreira da Silva, e coorientador, Professor Doutor António José Candeias Curado, pela inteira disponibilidade que sempre demonstraram e nos contactos que estabeleceram durante toda a fase de elaboração da dissertação, por terem disponibilizado os equipamentos necessários ao desenvolvimento deste trabalho, pelo empenho, dedicação, colaboração e ajuda que muito contribuíram para o enriquecimento desta dissertação.

O meu profundo agradecimento aos meus filhos, esposa e restante família, por suportarem todos estes anos a minha ausência, por todo o apoio, carinho, pela confiança depositada, pelo orgulho; a eles, especialmente, dedico este trabalho.

O meu agradecimento ao Sr. Rolf Fischer, Sr. José Serra, Sr. Guillermo Borrachero, Sr. Rory Forsythe, a FLIR Systems e todos os seus representantes, pela autorização no uso de Imagens e Textos extraídos do manual da FLIR T420.

Aos meus amigos, pelos momentos de alegria partilhados e acima de tudo pela amizade, para eles também um enorme agradecimento.





## Resumo

A redução da dependência energética da União Europeia e a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa são os dois grandes objetivos da reformulação da EPBD (Directive on the Energy Performance of Buildings) através da publicação da Diretiva Europeia 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta Diretiva prevê um conjunto de novos procedimentos e medidas para o melhoramento do desempenho energético de edifícios, desenhando um novo quadro geral comum para o cálculo do desempenho energético de edifícios, a par da introdução de alguns novos conceitos, como o dos Edifícios de Energia Quase Zero. Como resultado, houve a necessidade de proceder a uma revisão regulamentar pelos estados membros. A nível nacional, o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto substitui os anteriores Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE - DL78/2006 de 4 de Abril), o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE - DL80/2006 de 4 de Abril) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE - DL79/2006 de 4 de Abril), surgindo assim um novo regulamento que, num único diploma, se bem que complementado por várias peças legais, inclui o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A nova regulamentação visa incentivar a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios, procurando assim a otimização do seu desempenho energético em consequência de um menor recurso aos sistemas ativos de climatização.

É também paralelamente sabido que, nos últimos anos, tem havido uma preocupação crescente com a qualidade na construção, mas nem sempre esse esforço se tem refletido na melhoria da qualidade dos edifícios, apresentando muitos deles um conjunto significativo de disfunções e patologias associadas ao seu comportamento higrotérmico.

Neste contexto de otimização da eficiência energética e de procura da melhoria do conforto higrotérmico de edifícios, o presente trabalho visa o estudo do comportamento higrotérmico da Biblioteca Barbosa Romero da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, mediante o diagnóstico da sua envolvente exterior com recurso à análise termográfica,

apresentando de seguida uma proposta de medidas de melhoria das deficiências detetadas.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia, infravermelhos, envolvente de edifícios, patologias em edifícios, desempenho higrotérmico, desempenho térmico, isolamento térmico.

## Abstract

Reducing the energy dependency of the European Union and the reduction of emissions of greenhouse gas effect are the two main objectives of the recast of the EPBD (Directive on the Energy Performance of Buildings) through the publication of the European Directive 2010/31 / EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. This Directive provides a set of new procedures and measures to improve the energy performance of buildings, designing a new common general framework for calculating the energy performance of buildings, together with the introduction of some new concepts, such as the Almost Zero Energy Buildings. As a result, it was necessary to conduct a regulatory review by member states. In Portugal, the DL 118/2013 of 20 August replaces the former Energy Certification System of Buildings (SCE – DL 78 / 2006 of 4 April), the standard on Thermal Performance of Buildings (RCCTE – DL 80 / 2006 of 4 April) and the standard on, HVAC Systems in Buildings (RSECE – DL 79 / 2006 of 4 April), thus resulting in a new regulation, a single diploma, although complemented by various legal ordinances, that includes the new Energy Certification System of Buildings (SCE), the standard on Energy Performance of Residential Buildings (REH) and the standard on Energy Performance of Commercial and Service Buildings (RECS).

The new regulation aims to encourage the use of passive systems in buildings, thus seeking to optimize the energy performance as a result of a lower use of active heating and cooling systems.

It is also known that in recent years there has been a growing concern for quality construction, but not always this effort is reflected in the improvement of the quality of buildings, many of them presenting a significant number of problems related to their hygrothermal performance.

In this context of energy efficiency and improved hygrothermal comfort of buildings, this work aims to analyse the hygrothermal behaviour of the exterior envelope of the Barbosa Romero Library of the Technology and Management School of the Polytechnic Institute of Viana do Castelo, by means of thermographic analysis, then presenting measures to improve the detected deficiencies.

**KEYWORDS:** Thermography, infrared, buildings envelope, building pathology, hygrothermal performance, thermal performance, thermal insulation.



## Índice de figuras

Figura 1 - Sir William Herschel (1738–1822) (Holden, 2007) -----	13
Figura 2 - Representação do espectro eletromagnético, espectro visível e a radiação infravermelha (Testo, s.d.)-----	14
Figura 3 - Comprimento de onda ( $\lambda$ ) e amplitude de onda ( $\gamma$ ), (Advanced Training Center, s.d.)-----	15
Figura 4 - Retenção da radiação que entra na cavidade do corpo negro -----	16
Figura 5 - Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) (FLIR Systems, 2010) -----	17
Figura 6 - Max Planck (1858 – 1947) (elnuevodiario)-----	18
Figura 7 - Relação da emitância espectral do corpo negro com o comprimento de onda e Temperatura (Bernuy, 2008) -----	19
Figura 8 - Wilhelm Wien (1864 – 1928) (FLIR Systems, 2010)-----	20
Figura 9 - Radiação de corpo negro (Advanced Training Center, s.d.)-----	21
Figura 10 - Joseph Stefan (1835 – 1893) e Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) (FLIR Systems, 2010) ---	21
Figura 11 - Energia refletida, transmitida e emitida por um corpo (Adaptado de Advanced Training Center, s.d.)-----	22
Figura 12 - Energia refletida, transmitida e emitida por um objeto (Adaptado de Advanced Training Center, s.d.)-----	24
Figura 13 - Emissividade espectral de quatro tipos de radiadores (FLIR Systems, 2010) -----	26
Figura 14 - Emissividade direcional da Borracha para a banda de 3 à 5 $\mu\text{m}$ (asbl, 2008) -----	27
Figura 15 - Forma correta de medição (Advanced Training Center, s.d.)-----	28
Figura 16 - Variação da emissividade em função do angulo de observação para alguns não-metais (1) e metais (2) (Barreira, 2004) -----	28

Figura 17 - Exemplo da variação da emissividade total com a temperatura de materiais não-metais: Borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5) (Barreira, 2004) -----	29
Figura 18 - Emissividade espectral de materiais não-metais: água (1); terra (2); plástico (3) (Barreira, 2004) -----	30
Figura 19 - Alteração da emissividade total do cobre devida a oxidação: cobre muito oxidado (1); cobre levemente oxidado (2); cobre polido (3) (Barreira, 2004) -----	30
Figura 20 - A (energia infravermelha), B (sistema ótico), C (detetor de infravermelhos), D (sensor eletrónico), E (imagem), (FLIR Systems, 2010) -----	33
Figura 21 - Transparência e opacidade do vidro e do germânio, (Adaptado de Advanced Training Center, s.d.) -----	34
Figura 22 - Equipamento termográfico utilizado -----	34
Figura 23 - Perspetiva posterior Flir T420bx (FLIR Systems) -----	36
Figura 24 - Perspetiva frontal Flir T420bx (FLIR Systems) -----	37
Figura 25 - Equipamento de medição In-situ de fluxo de calor (1), (Januário & Sousa) e Termografia Infravermelha (2), (Flir) -----	42
Figura 26 - Pontes térmicas em fachadas dos edifícios, (Astronoo, s.d.) -----	44
Figura 27 - Imagem de um local com entrada de ar frio, (Fundacion de de la Energía e La Comunidad de Madrid, s.d.) -----	45
Figura 28 - A imagem térmica mostra um fuga em um sistema de aquecimento, adaptado de (FLIR Systems, 2010) -----	45
Figura 29 - Defeitos em isolamentos térmicos (R3 Técnica, s.d.) -----	46
Figura 30 - Imagem de uma colónia de insetos na madeira, (Fundacion de de la Energía e La Comunidad de Madrid, s.d.) -----	46
Figura 31 - Edifício parcialmente isolado, (Fundacion de de la Energía e La Comunidad de Madrid, s.d.) -----	47
Figura 32 - Imagens de infiltrações, (fotos do autor) -----	47

Figura 33 - Elementos estruturais identificados numa fachada (1) e teto (2) de um edifícios, (fotos do autor) -----	48
Figura 34 - Organograma do procedimento geral para interpretação das imagens térmicas (EN 13187:1999 )-----	50
Figura 35 - Gráfico cronológico dos passos realizados -----	54
Figura 36 - Imagens da Biblioteca Barbosa Romero, fonte (3dwarehouse, s.d.), (Google Earth)-----	55
Figura 37 - Planta piso 0 (R/C) -----	55
Figura 38 - Planta Piso 1 -----	56
Figura 39 - Planta piso 2 -----	56
Figura 40 - Planta piso -1 -----	56
Figura 41 - Corte; parede simples, isolamento pelo exterior -----	57
Figura 42 - Corte; Isolamento térmico de cobertura invertida não transitável, acabamento em gôdo-- -----	58
Figura 43 - Orientação do edifício segundo os pontos cardiais -----	58
Figura 44 - Alçados do edifício -----	59
Figura 45 - Plantas de divisões do edifício -----	59
Figura 46 - Exemplar de imagem, termograma e parâmetros da envolvente exterior do edifício -----	62
Figura 47 - Exemplar de imagem, termograma e parâmetros da envolvente interior do edifício-----	63
Figura 48 - Perdas de calor pelas cúpulas arquitetónicas -----	64
Figura 49 - Transição de fluxo de calor em fachadas -----	65
Figura 50 - Infiltrações em fachadas com sistema ETICS -----	65
Figura 51 - Perdas de energia pelos vãos envidraçados -----	66
Figura 52 - Análise económica do vidro da cúpula -----	68
Figura 53 - Análise económica da parede de elevação da cúpula em relação à laje de cobertura -----	69

Figura 54 - Análise económica da reabilitação térmica das paredes exteriores-----	71
Figura 55 - Análise económica dos vãos envidraçados -----	73



## Índice de quadros

Quadro 1 - Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de materiais de construção [W/m.°C] (Mendonça, 2005)-----	8
Quadro 2 - Valores da absorção, reflexão e transmissão espectral em corpos-----	25
Quadro 3 - Emissividade de alguns materiais (Mendonça, 2005) -----	26
Quadro 4 - Dados gerais do edifício -----	61
Quadro 5 - Condições climáticas durante a inspeção -----	61
Quadro 6 - Instrumentos e equipamentos utilizados durante a inspeção -----	61
Quadro 7 - Condições da envolvente exterior durante a inspeção -----	62
Quadro 8 - Condições da envolvente interior durante a inspeção-----	63
Quadro 9 - Avaliação térmica do vidro duplo da cúpula-----	67
Quadro 10 - Avaliação Térmica da parede de elevação da cúpula em relação à laje de cobertura----	69
Quadro 11 - Avaliação Térmica das paredes exteriores -----	70



## Índice de Tabelas

Tabela 1: Acessórios padrão . do equipamento Flir T420bx-----35

Tabela 2: Designação e funções dos comandos na perspectiva posterior da Flir T420bx ---36

Tabela 3: Tabela dos nomes e funções de peças na perspectiva Frontal da Flir T420bx ----38



## Lista de siglas

ASTM - American Society for Testing and Materials

EPBD - Directive on the Energy Performance of Buildings

ETICS - Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior

ISO - International Organization of Standardization

LCD – Liquid-Crystal Display

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior

XPS - Poliestireno expandido extrudido



## Lista de símbolos

A - Área [ $m^2$ ]

B - Constante de valor [ $2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$ ]

c - Velocidade da luz [ $\simeq 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ]

e - Espessura e/ou distância entre as extremidades [m]

E - Energia [J]

f - Frequência [ $s^{-1}$ ]

$h_c$  - Condutância térmica do material [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

h - Constante de Planck [ $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot s$ ]

K - Constante de Boltzmann [ $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ]

$q_{cond}$  - Fluxo de calor por condução [W]

$q_{conv}$  - Fluxo de calor por convecção [W]

$q_{rad}$  - Fluxo de calor por radiação [W]

$R_t$  – Resistência Térmica Total do paramento [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$R_j$  – Resistência Térmica da camada j [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$R_{se}$  - a resistência térmica superficial exterior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$R_{si}$  - a resistência térmica superficial interior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$t_e$  - temperatura exterior [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_i$  - temperatura interior [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{\infty}$  - Temperatura do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_s$  - Temperatura da superfície de um corpo ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{viz}}$  - Temperatura do corpo vizinho [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T$  - Temperatura do corpo negro [K]

$U$  - Coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ]

$W$  - Emitância espectral do corpo negro radiante no comprimento de onda ( $\lambda$ ) [ $\text{W}/\text{m}^2, \mu\text{m}$ ]

$W_b$  - é a quantidade de calor transferido por radiação [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$W_{\lambda}$  - Energia emitida por um corpo real para o  $\lambda$  comprimento de onda.

$W_{\lambda 0}$  - Energia emitida por um corpo negro no comprimento de onda ( $\lambda$ )

$\Delta t$  - diferença de temperatura entre as extremidades [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\lambda$  - Condutibilidade térmica do material [ $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ]

$\lambda$  - Comprimento de onda [m]

$\sigma$  - valor da constante de Stefan-Boltzmann [ $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ]

$\varepsilon$  - Emissividade da superfície

$\lambda_{\text{max}}$  - Comprimento de onda máximo [m]

$\alpha(\lambda)$  - Absorção espectral - mede a capacidade de um corpo absorver energia

$\rho(\lambda)$  - Reflexão espectral - mede a capacidade de um corpo refletir energia

$\tau(\lambda)$  - Transmissão espectral - mede a capacidade de um corpo transmitir energia



## Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Índice de figuras .....	vii
Índice de quadros .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Lista de siglas .....	xv
Lista de símbolos .....	xvii
Índice .....	xix
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos a alcançar com o desempenho térmico da envolvente dos edifícios .....	3
1.3 Objetivos do trabalho .....	4
2 PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR .....	5
2.1 Trocas térmicas .....	5
2.1.1 Trocas térmicas Húmidas .....	5
2.1.2 Trocas térmicas secas .....	5
2.1.2.1 Condução .....	6
2.1.2.1.1 Coeficiente de transmissão térmica (U) .....	6
2.1.2.1.2 Resistência Térmica ( $R_t$ ) .....	7
2.1.2.1.3 Condutibilidade térmica do material ( $\lambda$ ) .....	8

2.1.2.1.4	Aplicação a um elemento da envolvente dum edifício -----	9
2.1.2.2	Convecção -----	9
2.1.2.3	Radiação -----	10
3	CONCEITOS BÁSICOS DE TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS-----	13
3.1	A descoberta dos infravermelhos-----	13
3.2	Radiação infravermelha-----	14
3.3	Termografia por infravermelhos-----	15
3.4	Radiação do corpo negro-----	16
3.4.1	Lei de Kirchhoff -----	17
3.4.2	Lei de Planck -----	18
3.4.3	Lei do deslocamento de Wien -----	20
3.4.4	Lei de Stefan-Boltzmann-----	21
3.5	Radiação do corpo não negro -----	22
3.5.1	Corpo cinzento -----	22
3.5.2	Radiação incidente, absorvida, refletida e transmitida -----	22
3.5.3	Radiação saliente -----	23
3.5.4	Temperatura aparente e temperatura Real (compensada) -----	24
3.5.5	Emissividade-----	24
3.5.5.1	Fatores que influenciam a emissividade-----	27
3.5.5.1.1	Alteração da emissividade com o ângulo de observação-----	27
3.5.5.1.2	Alteração da emissividade com a temperatura -----	29
3.5.5.1.3	Alteração da emissividade com o comprimento de onda -----	29
3.5.5.1.4	Alteração da emissividade com a rugosidade superficial material -----	30
3.5.5.2	Determinação da emissividade -----	31

4	FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO CÂMARA TERMOGRÁFICA FLIR T420bx-----	33
4.1	Princípio básico de funcionamento de uma câmara termográfica-----	33
4.2	Equipamento Flir T420bx-----	34
4.3	Características do equipamento Flir T420bx -----	35
4.4	Designação e funções dos comandos do equipamento Flir T420bx-----	35
4.4.1	Perspetiva posterior-----	36
4.4.2	Perspetiva frontal -----	37
4.5	Métodos de Aplicação da Termografia-----	38
4.5.1	Termografia qualitativa-----	38
4.5.2	Termografia quantitativa -----	38
4.5.3	Termografia passiva -----	38
4.5.4	Termografia ativa -----	39
4.6	Fatores que influenciam a medição da temperatura -----	39
5	APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA AOS EDIFÍCIOS-----	41
5.1	Meios de diagnóstico e fiscalização do comportamento higrotérmico de edifícios---	41
5.2	Fatores com impacto no desempenho térmico de edifícios-----	42
5.3	Isolamento térmico -----	42
5.4	Utilização da termografia para reconhecimento de pontes térmicas em fachadas de edifícios -----	44
5.5	Utilização da termografia para deteção de passagem de ar em portas e janelas ----	44
5.6	A termografia como técnica de diagnóstico em sistema de aquecimento de pavimentos -----	45
5.7	Deteção fugas e defeitos em tubagem de água e ar condicionado -----	45
5.8	Identificação de colónias de insetos em elementos de madeira -----	46

5.9	Isolamento insuficiente em paramentos de edifícios -----	46
5.10	Identificação de infiltrações -----	47
5.11	Localização de elementos estruturais -----	48
6	ASPETOS NORMATIVOS-----	49
6.1	Princípios de Inspeção termográfica-----	49
6.2	Requisitos normativos do equipamento de termografia-----	50
6.3	Requisitos gerais de ensaio-----	51
6.4	Procedimentos para ensaios -----	51
6.5	Metodologia -----	53
7	CASO DE ESTUDO -----	55
7.1	Descrição geral do edifício – Biblioteca Barbosa Romero-----	55
7.2	Âmbito do caso de estudo-----	56
7.3	Constituição dos elementos construtivos -----	57
7.3.1	Paredes exteriores -----	57
7.3.2	Envidraçados -----	57
7.3.3	Coberturas -----	57
7.3.4	Interior do edifício-----	58
7.4	Orientação do edifício -----	58
7.5	Trabalho de campo-----	59
7.5.1	Localização dos ensaios no edifício -----	59
7.5.2	Caracterização dos ensaios -----	60
7.5.3	Quadros de dados-----	61
7.5.3.1	Dados gerais das condições de inspeção-----	61
7.5.3.2	Dados da envolvente exterior -----	62

7.5.3.3	Dados da envolvente interior	63
7.6	Análise de resultados	64
7.6.1	Coberturas	64
7.6.2	Paredes exteriores	65
7.6.3	Envidraçados	66
7.7	Relatórios	66
7.8	Medidas de melhorias	66
7.8.1	Avaliação térmica e análise económica das coberturas	67
7.8.2	Avaliação térmica e análise económica das paredes exteriores	70
7.8.3	Avaliação térmica e análise económica dos vãos envidraçados	72
8	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	75
8.1	Conclusões	75
8.2	Desenvolvimentos futuros	77
	Bibliografia	79
	ANEXO A1: TABELA DE EMISSIVIDADES (FLIR Systems)	83
	ANEXO A2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO FLIR T420BX (FLIR Systems)	97
	ANEXO A3: ENSAIOS TERMOGRÁFICOS DO EDIFÍCIO	103
	ANEXO A4: RELATÓRIO TERMOGRÁFICO (thya-thermographie)	113



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento

Na avaliação do comportamento higrotérmico de edifícios está, numa primeira fase, subjacente o conforto térmico dos seus ocupantes. Com efeito, a caracterização térmica de envolventes tinha inicialmente como principal objetivo contribuir para as condições de conforto térmico, sem atender prioritariamente aos consumos energéticos necessários para o atingir. No entanto, com o despertar para problemas económicos e ambientais e a forte perceção da necessidade de apostar em construções sustentáveis, têm sido desenvolvidas normas e legislação que, embora tendo presente o conforto higrotérmico, priorizam como objetivo a minimização do consumo energético nos edifícios. A redução da dependência energética da União Europeia e a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa são os dois grandes objetivos da reformulação da EPBD (*Directive on the Energy Performance of Buildings*) através da publicação da Diretiva Europeia 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta Diretiva prevê um conjunto de novos procedimentos e medidas para o melhoramento do desempenho energético de edifícios, desenhando um novo quadro geral comum para o cálculo do desempenho energético de edifícios, a par da introdução de alguns novos conceitos, como o dos Edifícios de Energia Quase Zero. Como resultado, houve a necessidade de proceder a uma revisão regulamentar pelos estados membros. A nível nacional, o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto substitui os anteriores Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE - DL78/2006 de 4 de Abril), o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE - DL80/2006 de 4 de Abril) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE - DL79/2006 de 4 de Abril), surgindo assim uma nova regulamentação que, num único diploma, se bem que complementado por várias peças legais, inclui o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

O Decreto-Lei n.º 118/2013 define regras específicas com vista à garantia da qualidade térmica dos edifícios novos ou existentes que estejam sujeitos a grandes intervenções. Esta nova regulamentação visa incentivar a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios, procurando assim a otimização do seu desempenho

energético em consequência de um menor recurso aos sistemas ativos de climatização, também estes alvo de requisitos mais exigentes ao nível da eficiência. Tanto o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), no caso dos edifícios destinados a habitação, como o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), no caso dos edifícios não destinados a habitação, têm ambos o seguinte âmbito de aplicação:

- a) Projeto e construção de edifícios novos;
- b) Grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes;
- c) Avaliação energética dos edifícios novos, sujeita a grande intervenção e existentes, no âmbito do SCE.

No caso em estudo, por se tratar de uma escola, e portanto um edifício não destinado à habitação, deverá ser aplicado o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). No entanto, no caso presente unicamente se pretende avaliar o comportamento higrotérmico da envolvente do edifício da Biblioteca Barbosa Romero da Escola Superior de Tecnologia e Gestão com recurso à termografia infravermelha, não se abordando a aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Desta forma, a inspeção/diagnóstico a ser executada com recurso termografia infravermelha sustentar-se-á no essencial na seguinte normalização específica:

- EN 13187:1998:
  - Procedimento geral para a aplicação qualitativa da técnica passiva de termografia infravermelha na avaliação térmica de edifícios;
  - Indicações para a análise das imagens térmicas.
- ASTM E 1933-99a:1999:
  - Métodos de ensaio para determinar e compensar o parâmetro emissividade
- ASTM E 1862-97:2002
  - Métodos para determinar e compensar o parâmetro temperatura refletida
- ASTM C1060-90:1997
  - Indicações para a inspeção qualitativa do isolamento térmico na envolvente dos edifícios
- ASTM C1153-97:2003
  - Indicações sobre a localização de isolamento térmico danificado por humidade em coberturas através do uso da técnica de termografia de infravermelhos



## 1.2 Objetivos a alcançar com o desempenho térmico da envolvente dos edifícios

O bom desempenho da envolvente dos edifícios sob o ponto de vista higrotérmico é essencial para a prossecução de um conjunto de objetivos que se revestem da maior importância para as suas utilização e manutenção, tendo particular relevância para os seus ocupantes. Um dos objetivos é o conforto higrotérmico, isto é, a manutenção da temperatura e humidade no interior numa gama de valores que, em termos físicos e na lógica dos ocupantes, corresponde à manutenção da neutralidade térmica, tornando os espaços confortáveis e, protegidos das condições climáticas exteriores. Outro objetivo diz respeito à salubridade, garantida muito especialmente à custa da qualidade do ar interior e fortemente relacionada com a ventilação dos espaços e o seu adequado isolamento térmico. Neste contexto, pode-se afirmar que as alergias e doenças respiratórias e reumáticas, cujas causas são frequentemente as variações bruscas de temperatura e a presença de humidade e fungos no interior, podem ser melhor prevenidas com o aperfeiçoamento das características higrotérmicas dos edifícios.

Um outro objetivo assumidamente primordial é a economia de energia, seja porque se traduz em economia de capital, seja porque se reporta diretamente à proteção do ambiente, já que tem impacto na conservação dos recursos naturais e na emissão de poluentes., Sendo certo que as necessidades de climatização diminuem consideravelmente graças ao isolamento térmico, a uma adequada proteção solar e a uma renovação de ar controlada, a consequente redução dos consumos de energia repercute-se positivamente a nível económico e na proteção do ambiente, com vantagens a nível local e global. Finalmente, o quarto objetivo centra-se no controle de condensações, muito especialmente nos pontos críticos que configuram as pontes térmicas. Tal controlo, conseguido à custa dum isolamento térmico criterioso da envolvente, é essencial em termos de manutenção e utilização do edifício, sabendo-se ser a humidade francamente prejudicial quer em termos de vivência dos ocupantes, quer em termos de conservação e durabilidade do edifício.

Ao realçar a importância das soluções de isolamento térmico, proteção solar, ventilação e iluminação natural, procura-se, de forma sucinta, apontar alguns princípios passivos básicos com o intuito de aperfeiçoar o desempenho energético de edifícios novos e existentes.

### 1.3 Objetivos do trabalho

No diagnóstico da envolvente dos edifícios com recurso à análise termográfica, são utilizadas câmaras de infravermelhos. Trata-se de um método de diagnóstico não destrutivo, de rápida execução, eficaz, económico e suficientemente preciso, face aos outros métodos utilizados para este efeito nos edifícios. Esta metodologia de diagnóstico será aplicada à envolvente exterior Biblioteca Barbosa Romero da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- Conhecer as técnicas termográficas e os seus fundamentos, bem como as suas aplicações em diagnósticos da envolvente dos edifícios.
- Com recurso a técnicas termográficas aplicadas à envolvente:
  - ✓ Visualizar e localizar as perdas de energia;
  - ✓ Detetar faltas ou deficiências de isolamento;
  - ✓ Localizar pontes térmicas;
  - ✓ Localizar potenciais pontos de condensação superficial;
  - ✓ Localizar a infiltração de água;
  - ✓ Detetar falhas de construção.
- Apresentar uma proposta de medidas de melhoria das deficiências detetadas

## **2 PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR**

### **2.1 Trocas térmicas**

Para melhor compreender o comportamento higrotérmico dos edifícios, devemos conhecer os fenômenos de trocas térmicas. Este conhecimento permite-nos entender melhor não só o relacionamento do organismo humano com o meio ambiente térmico, como também as trocas térmicas que ocorrem nos edifícios (Frota & Schiffer, 2001). As condições básicas para existência de fenômenos de trocas térmicas são:

- Mudança de estado;
- Existência de corpos com diferentes temperaturas.

#### **2.1.1 Trocas térmicas Húmidas**

A água é o elemento que proporciona as trocas térmicas por mudança de estado de agregação, do estado líquido para o estado de vapor e do estado de vapor para o líquido. O calor envolvido nestes mecanismos de troca é nomeado calor latente. Os mecanismos para as trocas térmicas húmidas são a evaporação e condensação.

#### **2.1.2 Trocas térmicas secas**

As trocas de calor que envolvem variações de temperatura são denominadas trocas secas, sendo o calor envolvido nestes mecanismos designado de calor sensível.

Essas trocas de calor consistem numa transferência de energia térmica devido a uma diferença de temperatura. Enquanto esta durar, ocorrerá transmissão de calor do corpo a temperatura mais elevada para o de menor temperatura, até que haja equivalência de temperatura entre eles e o sistema atinja o equilíbrio térmico. Podemos assim definir este fenômeno como transitório, que cessa quando não existe mais uma diferença de temperatura.

Os diferentes processos de transmissão de calor que poderão ocorrer no âmbito das trocas secas são designados como mecanismos de transferência de calor, e podem ocorrer por condução, convecção ou radiação.

### 2.1.2.1 Condução

O processo de transmissão de calor por condução ocorre quando a energia passa de molécula para molécula sem movimento de um meio, ou seja, resulta da capacidade térmica do material transmitir energia pelo contacto direto, por meio de movimentos e choques entre átomos e/ou moléculas vizinhas.

Segundo a *lei de Fourier*, num regime estacionário de condução, o fluxo de calor, num material homogêneo e condutor, é diretamente proporcional à condutibilidade térmica  $\lambda$  do material, à área  $A$  da seção transversal, à diferença de temperatura  $\Delta t$  entre as suas extremidades e inversamente proporcional à sua espessura ou distância entre as extremidades.

$$q_{\text{cond}} = \frac{\lambda}{e} \cdot A \cdot \Delta t \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Sendo:

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material [ $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ];

$e$  – Espessura e/ou distância entre as extremidades [ $\text{m}$ ];

$A$  – Área do elemento [ $\text{m}^2$ ];

$\Delta t$  – diferença de temperatura entre as extremidades [ $^\circ\text{C}$ ];

Podemos escrever a Lei de Fourier aplicada à térmica dos edifícios, através da seguinte equação:

$$q_{\text{cond}} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Sendo:

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ];

$A$  – Área do elemento [ $\text{m}^2$ ];

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre as extremidades [ $^\circ\text{C}$ ];

#### 2.1.2.1.1 Coeficiente de transmissão térmica (U)

Num edifício, a sua envolvente é composta por diversos elementos e, consequentemente, por diferentes materiais. O fluxo de calor que atravessa a secção desses elementos define a sua permeabilidade às trocas de energia térmica que ocorrem através da envolvente. No caso das trocas por condução, esta

permeabilidade é caracterizada por um coeficiente, intitulado de coeficiente de transmissão térmica. Assim, e de acordo com a lei de Fourier, nas mesmas condições de temperatura e para a mesma área de elemento, quanto maior o fluxo de calor verificado, maior será o valor do coeficiente de transmissão térmica.

Desta forma, podemos definir o coeficiente de transmissão térmica superficial U como sendo a quantidade de calor que atravessa uma superfície de área unitária A, para uma diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa,  $\Delta t$ , num intervalo de tempo unitário.

O valor do coeficiente de transmissão térmico é calculado a partir da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}] \quad (3)$$

Sendo:

$R_t$  – Resistência Térmica Total do paramento [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ ];

$R_j$  – Resistência Térmica da camada j [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ ];

$R_{si}$   $R_{se}$  – Resistências térmicas superficiais interior e exterior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ ].

#### 2.1.2.1.2 Resistência Térmica ( $R_t$ )

A resistência térmica ( $R_t$ ) de um material corresponde à dificuldade que esse material opõe à transmissão de calor e é determinada pelo quociente entre a espessura do material ( $e$ ) e a sua condutibilidade térmica ( $\lambda$ ).

Os valores das correspondentes resistências térmicas devem ser, quer calculados de acordo com a metodologia estabelecida na norma europeia EN ISO 6946, quer obtidos diretamente em tabelas (LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006).

A resistência térmica ( $R_t$ ) é calculada pela seguinte expressão:

$$R_t = R_{se} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{si} \quad [\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}] \quad (4)$$

Sendo:

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material [ $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ];

e – Espessura e/ou distância entre as extremidades [m];

$R_{se}$  - a resistência térmica superficial exterior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

$R_{si}$  - a resistência térmica superficial interior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

### 2.1.2.1.3 Condutibilidade térmica do material ( $\lambda$ )

A condutibilidade térmica quantifica a capacidade dos materiais de conduzirem calor, podendo definir-se como a quantidade de calor que atravessa por unidade de tempo um elemento dum material homogéneo, com uma face de área unitária e uma espessura unitária, para uma diferença de temperatura unitária entre ambas as faces. Assim sendo, materiais com alta condutibilidade térmica conduzem melhor o calor que aqueles com baixa condutibilidade térmica. Deste modo, materiais de com alta condutibilidade térmica são utilizados como dissipadores de calor e materiais de baixa condutibilidade térmica são utilizados como isolamentos térmicos.

Estão representadas no Quadro 1 alguns valores de condutibilidade térmica de materiais utilizados correntemente na construção.

Quadro 1 - Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de materiais de construção [ $W/m \cdot ^\circ C$ ] (Mendonça, 2005)

Material	Densidade	$W/m \cdot ^\circ C$
<b>Isolamentos</b>		
Lã de rocha	(20-35kg/m <sup>3</sup> )	0,045
	(35-180kg/m <sup>3</sup> )	0,04
Lã de vidro	(8-12kg/m <sup>3</sup> )	0,045
	(12-80kg/m <sup>3</sup> )	0,04
Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	(90-140kg/m <sup>3</sup> )	0,045
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	(25-40kg/m <sup>3</sup> )	0,037
Espuma rígida de Poliuretano em placas (PUR)	(20-50kg/m <sup>3</sup> )	0,04
Espuma rígida de Poliuretano em painéis sanduíche	(35-50kg/m <sup>3</sup> )	0,037
Espuma rígida de Poliuretano projetado in situ (PUR)	(20-50kg/m <sup>3</sup> )	0,042
<b>Betões de inertes correntes</b>		
Betão de inertes correntes - normal	(2000-2300kg/m <sup>3</sup> )	1,65
Betão de inertes correntes - normal	(2300-2600kg/m <sup>3</sup> )	2,0
Betão de inertes correntes - cavernoso	(1600-1800kg/m <sup>3</sup> )	1,15
Betão de inertes correntes - cavernoso	(1800-2000kg/m <sup>3</sup> )	1,35
Betão armado com percentagem de armadura <1%	(2300-2400kg/m <sup>3</sup> )	2,
Betão armado com percentagem de armadura 1-2%	(2300-2400kg/m <sup>3</sup> )	2,3
Betão armado com percentagem de armadura >2%	(>2400kg/m <sup>3</sup> )	2,5
<b>Gessos</b>		
Estuque projetado	(900-1200kg/m <sup>3</sup> )	0,43
Estuque tradicional	(1000-1300kg/m <sup>3</sup> )	0,57

#### 2.1.2.1.4 Aplicação a um elemento da envolvente dum edifício

Muitos elementos de construção não são necessariamente homogéneos, mas compostos por diversos subelementos, cujas propriedades variam. No caso prático de uma parede em estação de aquecimento, considera-se esta como um elemento composto por vários subelementos dispostos em série, atravessados perpendicularmente por um fluxo de calor no sentido do interior para o exterior.

Assim sendo, a expressão matemática para se quantificar a quantidade de calor que atravessa essa parede passa a ser a seguinte:

$$q_{cond} = \frac{\Delta t}{R_t} \times A = \frac{(t_i - t_e)}{R_{se} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{si}} \times A \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Sendo:

A – Área da parede [m²];

$\Delta t$  – diferença de temperatura entre as extremidades [°C]

$t_e$  – temperatura exterior [°C]

$t_i$  – temperatura interior [°C]

$\lambda$  – Condutibilidade térmica dos materiais [W/m.°C]

$e$  – Espessura dos subelementos da parede [m]

$R_{se}$  – resistência térmica superficial exterior

$R_{si}$  – resistência térmica superficial interior.

#### 2.1.2.2 Convecção

Chama-se convecção à troca de calor que ocorre entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido. O fluxo de energia térmica dá-se no meio fluido devido à diferença de densidade quando a sua temperatura é modificada. Quando um fluido é aquecido tende a expandir-se e conseqüentemente a diminuir de densidade, deslocando-se acima da matéria mais fria., sobe acima da matéria mais fria e, portanto, menos densa. O fluxo de energia é então criado pelo movimento físico de partículas do fluído das zonas quentes para as zonas frias.

A quantidade de calor transportado por convecção ( $q_{conv}$ ), é dada pela seguinte expressão:

$$q_{conv} = hc \times A \times (Ts - Tf) \quad [W] \quad (6)$$

Sendo:

$h_c$  – Coeficiente de convexão [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

$A$  – Área da superfície do sólido em contacto com o fluído [ $m^2$ ]

$T_s$  – Temperatura da superfície do sólido [ $^\circ C$ ]

$T_f$  – Temperatura do fluido [ $^\circ C$ ]

No caso prático de uma parede,  $A$  corresponde à área da parede e  $T_s$  à sua temperatura superficial, enquanto  $T_f$  corresponde à temperatura do ar envolvente não perturbado.

### 2.1.2.3 Radiação

Um corpo cuja temperatura seja superior a zero absoluto, emite energia sob a forma de radiação. Entre dois corpos, ocorrem trocas de energia por radiação, que, entre outros fatores, dependem das suas capacidades de emissividade e absorção dessa mesma energia. A radiação térmica, é uma forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. A energia térmica radiante é emitida na gama de comprimentos de onda entre 0,1 a 100  $\mu m$  do espectro eletromagnético. Como essas ondas se podem propagar no vácuo, não é necessário que haja contato entre os corpos ou qualquer meio material entre eles para haver transferência de calor. Um exemplo de radiação de térmica dá-se quando nos aquecemos numa lareira sem ter contacto direto com o fogo.

A energia radiante que um corpo emite é dada pela Lei de Stefan-Boltzmann aplicada a um corpo real.

$$q_{rad} = \sigma \times \varepsilon \times A \times T_s^4 \quad [W] \quad (7)$$

Se se considerar a emissão de radiação entre dois corpos, à temperatura  $T_s > T_{viz}$ , então utiliza-se a expressão:

$$q_{rad} = \sigma \times F \times A \times (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad [W] \quad (8)$$



Sendo:

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$  a constante de Stefan-Boltzmann

$\varepsilon$  - Emissividade da superfície

F – Fator de forma

A – Área da superfície em contacto com o fluído [ $\text{m}^2$ ]

$T_s$  – Temperatura absoluta da superfície do corpo [°K]

$T_{\text{viz}}$  – Temperatura do corpo vizinho [°K]



### 3 CONCEITOS BÁSICOS DE TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS

#### 3.1 A descoberta dos infravermelhos

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 pelo astrónomo inglês, de origem alemã, Frederick William Herschel, quando observava a quantidade de calor que atravessava diferentes filtros de cor para observação da luz solar. Foi assim que observou que os filtros deixavam passar diferentes quantidades de calor em função das cores e por isso deduziu que as cores deveriam ter temperaturas diferentes.

Para dar segurança ao seu argumento, William Herschel realizou um sistema em que fez passar a luz do sol diretamente através de um prisma de cristal para criar um espectro contínuo de radiações de onda, entre o vermelho e o violeta.

Nas cores do espectro, o astrónomo utilizou três termómetros para medir individualmente a temperatura associada à luz violeta, azul, verde, amarela, laranja e vermelha. Para seu espanto, observou que as temperaturas cresciam desde a cor violeta até a cor vermelha. Então, Herschel continuou com a experiência e mediu o ponto imediatamente contíguo à cor vermelha do espectro, onde a radiação não apresentava luz visível, ficando surpreso, pois essa radiação era a que mostrava temperatura mais alta.

De facto, a experiência do cientista foi importante porque, pela primeira vez, alguém demonstrava empiricamente que havia radiação não visível ao olho humano.

Em suma, o que William Herschel tinha descoberto era uma forma de luz de comprimento de onda superior ao da luz vermelha do espectro, comumente conhecida como radiação infravermelha (Factorial321, 2012).



*Figura 1 - Sir William Herschel (1738–1822) (Holden, 2007)*

### 3.2 Radiação infravermelha

Os nossos olhos são detetores que são projetados para radiação eletromagnética no espectro de luz visível. Todas as outras formas de radiação eletromagnética, tais como o infravermelho, são invisíveis ao olho humano. A radiação infravermelha encontra-se entre a frequência visível e as micro-ondas no espectro eletromagnético (Figura 2).

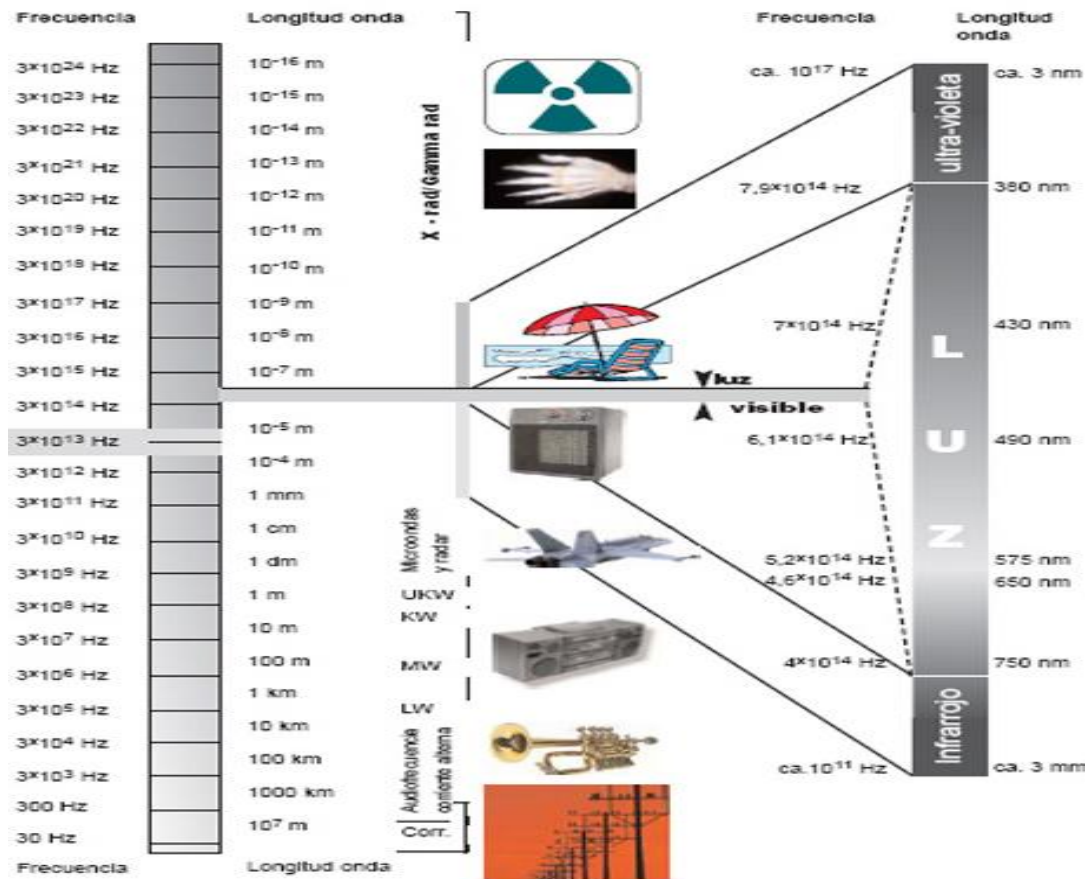


Figura 2 - Representação do espectro eletromagnético, espectro visível e a radiação infravermelha (Testo, s.d.)

A principal fonte de radiação infravermelha é o calor ou radiação térmica. Qualquer objeto que tenha uma temperatura acima do zero absoluto ( $-273,15$  graus Celsius) emite energia e radiação com diferentes comprimentos de onda, na região do infravermelho. Mesmo os objetos muito frios, como cubos de gelo, emitem radiação infravermelha e, quanto maior for a temperatura do objeto, mais radiação de infravermelhos ele emite.

A intensidade da radiação emitida depende da temperatura do objeto e da capacidade do objeto emitir radiação, conhecida por emissividade ( $\epsilon$ ) e que é uma característica do material e da superfície.

A radiação infravermelha divide-se em quatro bandas, cujas designações são a próxima de infravermelhos (0,75–3  $\mu\text{m}$ ), a média de infravermelhos (3–6  $\mu\text{m}$ ), a afastada de infravermelhos (6–15  $\mu\text{m}$ ) e a extrema de infravermelhos (15–100  $\mu\text{m}$ ). O comprimento de onda (Figura 3) pode ser medido em diferentes unidades, como sejam o nanómetro (nm) e o Ångström (Å), apesar de ser habitualmente utilizado o micron ( $\mu\text{m}$ ). Estas diferentes unidades de comprimento de onda relacionam-se de seguinte forma:

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 1 / 1.000 \text{ mm};$$

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 1 / 10.000.000 \text{ m}.$$

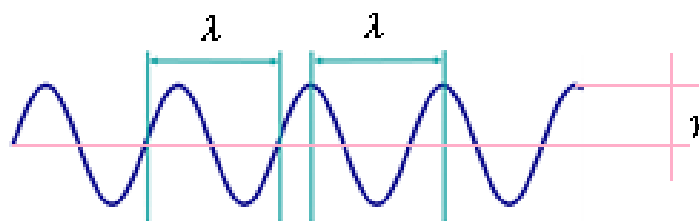


Figura 3 - Comprimento de onda ( $\lambda$ ) e amplitude de onda ( $\gamma$ ), (Advanced Training Center, s.d.)

### 3.3 Termografia por infravermelhos

A termografia por infravermelhos (TIV) é uma técnica baseada na captação de imagens de calor (termogramas), não visíveis pelo olho humano, através de uma câmara termográfica.

A câmara termográfica transforma uma radiação infravermelha invisível ao olho humano em uma imagem visível, pois deteta a energia emitida por um objeto, modifica a frequência da energia recebida e produz uma imagem. Para formação de uma imagem térmica, devemos ter diferenças de temperatura pelo que, se tivermos uma superfície com temperatura constante, não se formará nenhuma imagem.

No campo da engenharia civil, a termografia por infravermelhos (TIV) é um poderoso meio não invasivo de monitorização e diagnóstico da condição dos edifícios. Esta tecnologia permite identificar precocemente os problemas, permitindo que eles sejam corrigidos antes de se tornarem graves e dispendiosos na sua reparação.

A utilização adequada desta técnica deve ser baseada no conhecimento adquirido em formação especializada e consolidado com a experiência ao longo dos anos.

A grande vantagem da termografia por infravermelhos (TIV) é que é uma técnica de teste de áreas, enquanto os outros métodos de ensaio, quer destrutivos, quer não destrutivos, são técnicas de ensaio pontuais ou lineares. A termografia permite

apresentar uma imagem bidimensional da “temperatura superficial” da superfície analisada, mostrando a extensão e localização das anomalias detetadas, procedendo-se, nesses casos, a testes pontuais, mas com localização específica e previamente determinada pela análise dos termogramas.

### 3.4 Radiação do corpo negro

Pode-se definir corpo negro como aquele que absorve toda a radiação eletromagnética que recebe, em qualquer comprimento de onda e direção, sendo que nenhuma luz o atravessa nem é refletida. Assim sendo, este corpo não é visível embora produza radiação, o que permite determinar qual a sua temperatura.

Do ponto de vista prático, há duas maneiras possíveis de criar um corpo negro: estabelecendo uma cavidade praticamente fechada ou utilizando um revestimento absorvente perfeito. O primeiro caso consiste em criar uma cavidade no interior de um sólido, ligada ao exterior por um orifício cuja dimensão é significativamente inferior à dimensão da cavidade. Este sistema retém quase na totalidade a radiação que entra na cavidade (Figura 4). O revestimento absorvente perfeito resulta da utilização de certos tratamentos de superfície ou pinturas, que permitem que um qualquer objeto absorva praticamente toda a radiação incidente (Silva, 2012).



Figura 4 - Retenção da radiação que entra na cavidade do corpo negro

No entanto, não existem na natureza corpos negros perfeitos (Instituto de Física da UFRGS, s.d.) s, já que nenhum objeto consegue ter absorção e emissão perfeitas, logo, é sempre pressuposto obter valores para a emissividade  $\epsilon$  inferiores à unidade, sendo este valor teórico associado a um corpo negro.

### 3.4.1 Lei de Kirchhoff

A lei de Kirchhoff da radiação térmica é proposta pelo físico alemão Gustav Kirchhoff (Figura 5) em 1859 a partir de considerações gerais de equilíbrio termodinâmico. No essencial postula que a capacidade de um corpo para absorver energia em forma de radiação incidente coincide com a sua capacidade para emitir a sua própria energia como radiação.



*Figura 5 - Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) (FLIR Systems, 2010)*

Assim, Kirchhoff diz-nos que num corpo negro ideal, em equilíbrio termodinâmico, à temperatura  $T$ , a radiação total emitida deve ser igual a radiação total absorvida.

Além desta lei, será de referir mais três que contribuem para a caracterização da radiação térmica :

- i) A radiação térmica emitida por um corpo negro em qualquer temperatura possui vários comprimentos de onda e frequências; A distribuição das frequências é dada pela Lei de Planck para um emissor ideal;
- ii) Num corpo negro, o comprimento de onda em que há máxima emissão de radiação diminui com o aumento da temperatura do corpo, conforme a Lei de Wien;
- iii) A quantidade total de radiação libertada por um corpo negro, em todas as frequências, aumenta de acordo com a temperatura elevada à sua quarta potência, conforme a Lei de Stefan-Boltzmann.

### 3.4.2 Lei de Planck

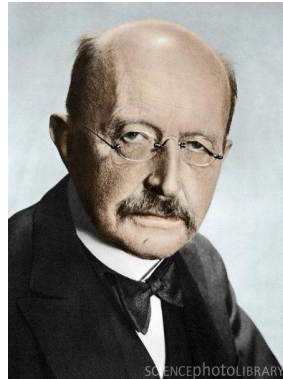


Figura 6 - Max Planck (1858 – 1947) (elnuevodiario)

Em 1901, Max Planck, com a Lei de Planck da Radiação de Corpo Negro desenvolve uma fórmulação que vem sugerir que a energia das oscilações da cavidade de um corpo negro são quantificadas, ou seja, o corpo só pode emitir ou absorver energia em pequenas quantidades, chamadas “Quanta. No essencial, a lei de Planck estabelece a quantidade de energia (E) emitida por um corpo a uma dada temperatura para cada comprimento de onda  $\lambda$ . No entanto, a lei de Panck aplica-se apenas a radiadores perfeitos que, teoricamente, emitem a totalidade da energia armazenada sob a forma de calor.

$$E = h f \quad [\text{J}] \quad (9)$$

Sendo:

E = Energia [J]

h = constante de Planck [ $6,63 \times 10^{-34}$  Js]

f = frequência [ $\text{s}^{-1}$ ]

Max Planck descreveu a distribuição espectral da radiação de um corpo negro, através da seguinte fórmula (Marques, 2014):

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 [e^{\left(\frac{hc}{\lambda k T}\right)} - 1]} \times 10^{-6} \quad [W/m^2, \mu m] \quad (10)$$



Onde:

$W(\lambda, T)$  - é a emitância espectral do corpo negro radiante no comprimento de onda  $\lambda$  [ $W/m^2, \mu m$ ]

$\lambda$  - é o comprimento de onda [m]

$T$  - é a temperatura do corpo negro [K]

$h$  - é a constante de Planck [ $6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$ ]

$K$  - é a constante de Boltzmann [ $1.381 \times 10^{-23} J/K$ ]

$e$  - é o número de Euler

$c$  - é a velocidade da luz [ $\approx 3 \times 10^8 m/s$ ]

À medida que a temperatura aumenta, os corpos negros começam a emitir radiação em comprimentos de onda visíveis ao olho humano. A representação gráfica da lei de Planck evidencia a relação da emitância espectral do corpo negro com o comprimento de onda e Temperatura.

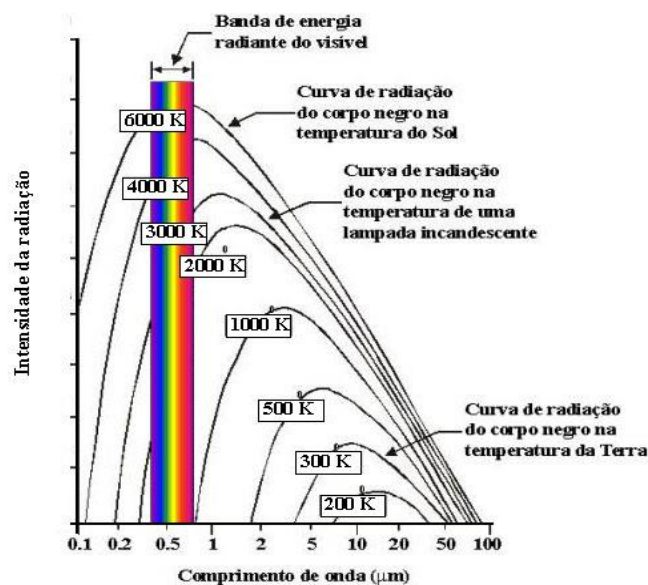
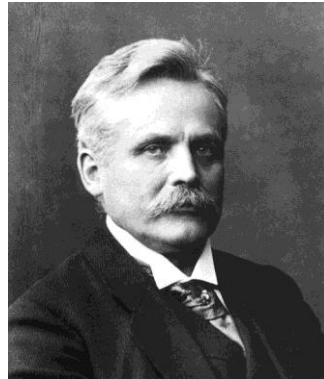


Figura 7 - Relação da emitância espectral do corpo negro com o comprimento de onda e Temperatura (Bernuy, 2008)

Na mesma medida que a temperatura aumenta, a amplitude da curva aumenta, bem como a sua área. O ponto de maior energia desloca-se para valores de comprimento de onda mais pequenos. Esta relação é descrita pela Lei do Deslocamento de Wien.

### 3.4.3 Lei do deslocamento de Wien



*Figura 8 - Wilhelm Wien (1864 – 1928) (FLIR Systems, 2010)*

A lei do deslocamento de Wien estabelece que há uma relação inversa entre a temperatura de um corpo negro e o comprimento de onda em que se produz o pico de emissão. A consequência da lei de Wien é que quanto maior é a temperatura de um corpo negro, menor é o comprimento de onda no qual ele emite.

A lei de Wien toma a seguinte expressão:

$$\lambda = B/T \quad [\text{m}] \quad (11)$$

Em que:

B - é uma constante de valor  $[2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}]$

$\lambda$  - é o comprimento de onda [m]

T - é a temperatura do corpo negro [K]

Quanto maior for a temperatura, mais energia será emitida por um corpo por unidade de tempo e por unidade de área do corpo. O cálculo dessa energia é efetuado através da área contida por baixo de cada curva do gráfico (Figura 9), segundo Lei de Stefan-Boltzmann.

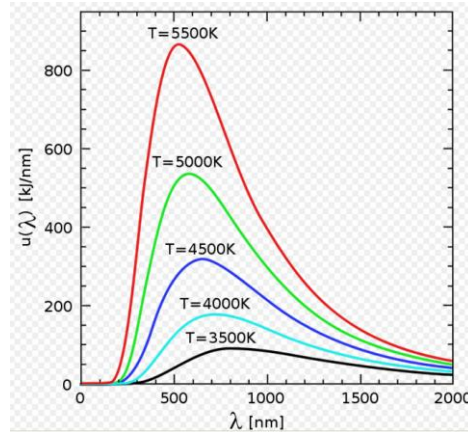


Figura 9 - Radiação de corpo negro (Advanced Training Center, s.d.)

### 3.4.4 Lei de Stefan-Boltzmann



Figura 10 - Joseph Stefan (1835 – 1893) e Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) (FLIR Systems, 2010)

A fórmula de Josef Stefane Ludwig Boltzmann ao integrar a fórmula de Planck (10) no domínio  $\lambda = 0$  a  $\lambda = \infty$ , determina que a energia total emitida por radiação por um corpo negro é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta:

$$W_b = \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (12)$$

Onde:

$\sigma$  - é a constante de Stephan-Boltzmann  $5.6697 \times 10^{-8} \quad [W/(m^2K^4)]$

$W_b$  - é a quantidade de energia emitida por radiação por um corpo negro  $[W/m^2]$

$T$  - é a temperatura  $[K]$

### 3.5 Radiação do corpo não negro

#### 3.5.1 Corpo cinzento

Um corpo real emitirá para cada comprimento de onda uma energia igual ou inferior à que emite o corpo negro, à mesma temperatura. Em termos de balanços de energia, interessa conhecer o total da energia trocada, e não é relevante saber qual a energia que foi trocada para cada comprimento de onda. Desta forma, define-se um corpo cinzento, que tem uma emissividade inferior a 1 e emite a mesma quantidade de energia que o corpo real em estudo. Isto permite que as superfícies reais possam ser associadas a superfícies cinzentas, com emissividades que variam geralmente entre 0,25 e 0,95 (Roriz).

#### 3.5.2 Radiação incidente, absorvida, refletida e transmitida

Admite-se como radiação incidente ( $W_i$ ) sobre um corpo toda aquela que o atinge a partir do seu ambiente. De uma forma geral, como a radiação incide sobre corpos reais que não apresentam as mesmas características de um corpo negro, parte dessa energia é absorvida ( $W_\alpha$ ), outra parte é refletida ( $W_\rho$ ) e uma outra é transmitida ( $W_\tau$ ). Dividindo cada uma destas três componentes pela radiação incidente ( $W_i$ ), obtemos a proporção de radiação que é absorvida ( $\alpha$ ), refletida ( $\rho$ ) e ( $\tau$ ) transmitida.

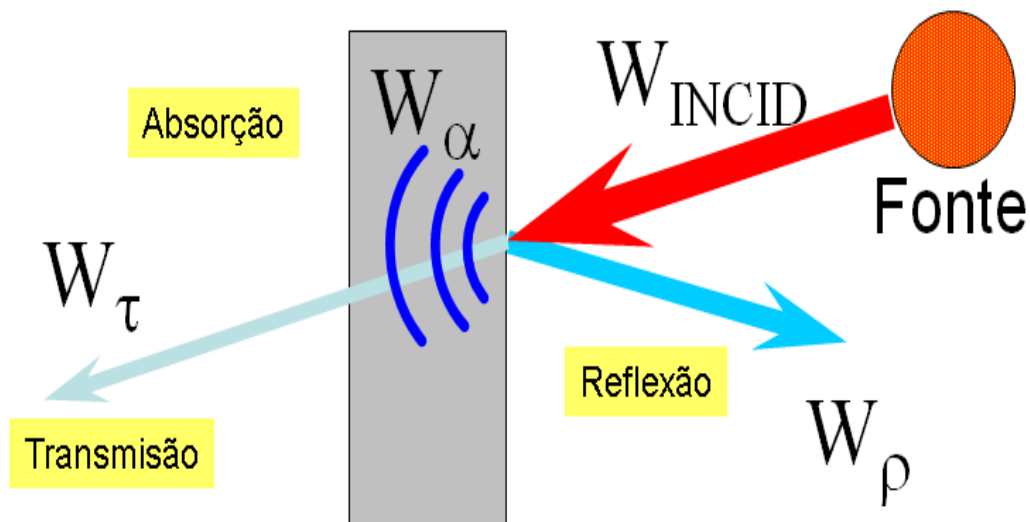


Figura 11 - Energia refletida, transmitida e emitida por um corpo (Adaptado de Advanced Training Center, s.d.)

Todos estes fatores dependem do comprimento de onda, sendo o seu somatório sempre igual à unidade (Barreira, 2004).

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (13)$$

Em que:

$\alpha(\lambda)$  – Absorção espectral - mede a capacidade de um corpo absorver energia.

$\rho(\lambda)$  – Reflexão espectral - mede a capacidade de um corpo refletir energia,

$\tau(\lambda)$  – Transmissão espectral - mede a capacidade de um corpo transmitir energia.

Num objeto em estado de equilíbrio térmico, a energia que absorve é igual a energia que emite ( $\alpha = \epsilon$ ). Desta forma, a equação anterior passa a ser:

$$\epsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (14)$$

Em que:

$\epsilon(\lambda)$  – Emissividade espectral - mede a capacidade de um corpo emitir energia.

$\rho(\lambda)$  – Reflexão espectral - mede a capacidade de um corpo refletir energia,

$\tau(\lambda)$  – Transmissão espectral - mede a capacidade de um corpo transmitir energia.

### 3.5.3 Radiação saliente

No campo de visão da câmara termográfica, podemos ver que a radiação registada pelo sensor de imagem térmica traduz-se na emissão, reflexão e transmissão de ondas de radiação infravermelha através de um objeto, isto é, será toda a radiação que sai do objeto para a câmara termográfica, seja tendo origem no próprio objeto ou numa fonte externa a esse mesmo objeto. Por esse motivo a designamos de radiação saliente.

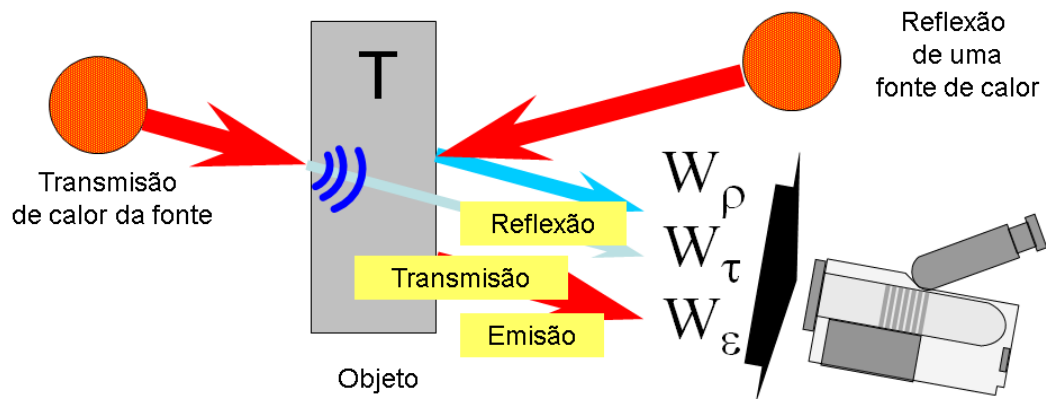


Figura 12 - Energia refletida, transmitida e emitida por um objeto (Adaptado de Advanced Training Center, s.d.)

### 3.5.4 Temperatura aparente e temperatura Real (compensada)

De uma forma expedita pode-se dizer que a temperatura aparente é a leitura não compensada de um instrumento de infravermelhos e está associada a toda radiação incidente no instrumento, independentemente da sua fonte. Para se medir a temperatura aparente, em um ambiente de diagnóstico, deve-se ajustar o equipamento termográfico com a emissividade a 1 e a distância a 0 metros do objeto. Por outro lado, a temperatura real será a leitura da temperatura compensada, tendo em conta a emissividade do objeto e as propriedades do ambiente.

### 3.5.5 Emissividade

Um dos parâmetros importante é a emissividade ( $\epsilon$ ). Emissividade é definida como sendo a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um corpo negro perfeito. É a razão entre a energia irradiada por um determinado material e a energia irradiada por um corpo negro ( $\epsilon=1$ ).

$$\epsilon(\lambda) = \frac{W(\lambda)}{W(\lambda_0)} \quad (15)$$

Com:

$W(\lambda)$  - Energia emitida por um corpo real no comprimento de onda  $\lambda$ ;

$W(\lambda_0)$  - Energia emitida por um corpo negro no comprimento de onda  $\lambda$ .

A emissividade pode ter um valor de 0, no caso um espelho perfeito, até 1.0, no caso de um corpo negro teórico. Muitos materiais orgânicos, revestidos ou superfícies oxidadas podem ter valores de emissividade próximos de 0.95. A emissividade é uma constante inerente ao objeto e varia com a condição da superfície do objeto como também com a variação da temperatura e comprimento de onda. Materiais não metálicos (PVC, cimento e substâncias orgânicas) têm alta emissividade para a faixa do infravermelho distante e esta não depende da temperatura:  $0,8 < \varepsilon < 0,95$ . Metais com superfície brilhantes têm baixa emissividade, que varia com a temperatura (Oliveira, 2012).

Considerando a emissividade para um radiador de corpo cinzento, a fórmula Stefan-Boltzmann toma a seguinte forma:

$$W_g = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (16)$$

Sendo:

$\varepsilon$  – Emissividade

$\sigma$  - é a constante de Stephan-Boltzmann  $5.6697 \times 10^{-8} \quad [W/(m^2K^4)]$

$W_g$  - é a quantidade de energia emitida por radiação por um corpo cinzento  $[W/m^2]$

$T$  - é a temperatura [k]

Isto determina que a energia emissiva total de um corpo cinzento é a mesma de um corpo negro à mesma temperatura reduzida proporcionalmente ao valor  $\varepsilon$  do corpo cinzento (FLIR Systems, 2010).

No Quadro 2, estão representados os valores de emissividade, reflexão e transmissão espectral, para alguns corpos.

Quadro 2 - Valores da absorção, reflexão e transmissão espectral em corpos

Objeto	Emissividade $\varepsilon$	Reflexão $\rho$	Transmissão $\tau$
Corpo negro	$\varepsilon = 1$	$\rho = 0$	$\tau = 0$
Corpo transparente	$\varepsilon = 0$	$\rho = 0$	$\tau = 1$
Espelho Perfeito	$\varepsilon = 0$	$\rho = 1$	$\tau = 0$
Cinzento	$\varepsilon = \text{Constante}$	$\rho = \text{Constante}$	$\tau = 0$
Superfície Opaca	$\varepsilon + \rho = 1$		$\tau = 0$

A temperatura ideal para medir a temperatura numa superfície de um objeto seria a de um corpo negro com  $(\varepsilon) = 1$  e  $\rho = \tau = 0$ - No entanto, na realidade, a maioria dos

objetos comportam-se como corpos cinzentos (têm a mesma emissividade em todos os comprimentos de onda) ou não cinzentos (a emissividade varia com o comprimentos de onda/ temperatura (Figura 13).

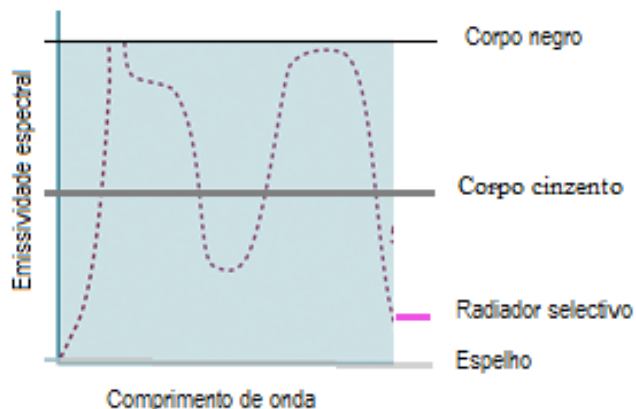


Figura 13 - Emissividade espectral de quatro tipos de radiadores (FLIR Systems, 2010)

Nas câmaras termográficas, a emissividade é um parâmetro importante nas medições reais de temperatura, sendo necessário conhecer o valor efetivo da emissividade da superfície que está a ser analisada. Estes valores poderão ser obtidos por métodos simplificados ou por recurso a valores tabelados, de que é exemplo a tabela apresentada no anexo A1.

No seguinte quadro, estão representados os valores de emissividade para alguns materiais mais utilizados.

Quadro 3 - Emissividade de alguns materiais (Mendonça, 2005)

Material	Comprimento de onda [ $\mu\text{m}$ ]	Emissividade $\epsilon$
Aço	-	0,07
Água	8-14	0,98
Alumínio	-	0,09
Areia	-	0,90
Argamassa de inertes correntes	2-5,6	0,87
Argila expandida (8/16)	8-14	0,91
Betão normal	2-5,6	0,92 - 0,97
Borrachas sintéticas, formo-fenólicos, poliamidas,	8-14	0,95
Calcário	5	0,96
Carvalho, freixo, faia, pinho, casquinha, cedro, abeto	-	0,90
Cerâmica de barro vermelho	2-5,6	0,93
Chumbo	8-14	0,28
Cobre	8-14	0,07
Contraplacado	2-5,6	0,83
Estuque projectado ou de massa volúmica elevada	2-5,6	0,86 - 0,90
Estuque tradicional, placas de estafe, gesso cartonado	2-5,6	0,90
Ferro	8-14	0,21



Ferro fundido	8-14	0,81
Granito, gneisse, pórfiro	5	0,96
Latão	8-14	0,10
Placas de madeira prensadas	-	0,87
Poliestireno expandido extrudido	5	0,60
Polimetacrilato de metilo (acrílico), policloreto de vinilo (PVC)	2-5,6	0,91 - 0,94
Terra	-	0,92
Vidro celular	8-14	0,92
Zinco	-	0,25

### 3.5.5.1 Fatores que influenciam a emissividade

A emissividade ( $\epsilon$ ) de uma superfície é a razão entre a radiância dessa superfície e a radiância do corpo negro. Este fator depende do comprimento de onda, da direção de observação em relação à superfície em estudo e da temperatura dessa superfície (Barreira, 2004).

Podemos, em seguida, descrever os fatores que alteram a emissividade dos materiais, destacando particularmente:

- Alteração da emissividade com o ângulo de observação
- Alteração da emissividade com a temperatura
- Alteração da emissividade com o comprimento de onda
- Alteração da emissividade com a rugosidade superficial material

#### 3.5.5.1.1 Alteração da emissividade com o ângulo de observação

A emissão de radiação infravermelha varia com o ângulo de observação da mesma superfície de um corpo. A emissividade permanece constante até mais ou menos 50° em relação ao normal: acima deste valor, esta cai vigorosamente (asbl, 2008).

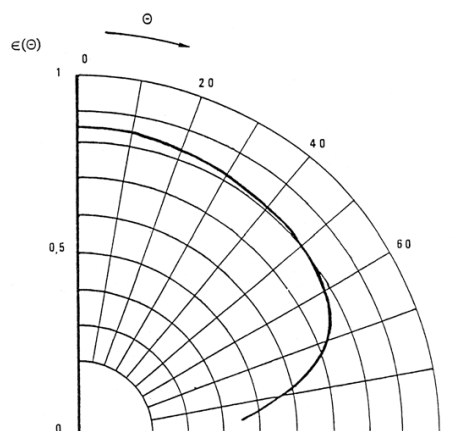


Figura 14 - Emissividade direcional da Borracha para a banda de 3 à 5  $\mu\text{m}$  (asbl, 2008)

Na prática, segundo o ângulo de visão, com um ângulo de  $0^\circ$  verifica-se o reflexo do autor dos fotogramas, isto é, deve-se evitar a perpendicular para que o operador não seja uma fonte importante de reflexão. Com um ângulo de  $90^\circ$  em relação à perpendicular, a emissividade desce drasticamente. O ângulo de posicionamento da câmara mais correto pode-se observar na figura 15.

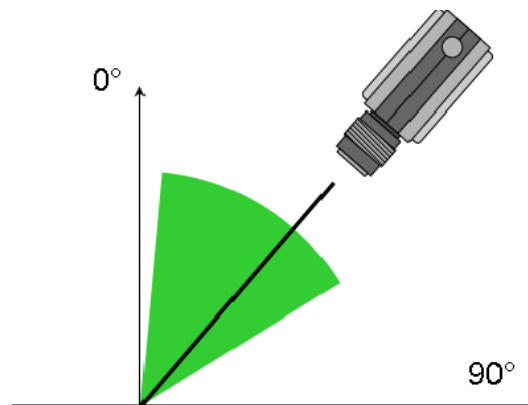


Figura 15 - Forma correta de medição (Advanced Training Center, s.d.)

A emissividade varia com o ângulo de observação, podendo originar valores de emissividade não reais no caso de superfícies não planas, isto é, pode originar uma emissividade aparente. Por outro lado, nos não-metais, esta variação é praticamente nula para ângulos entre o  $0^\circ$  e os  $60^\circ$  em relação à perpendicular à superfície, no entanto, para valores acima dos  $70^\circ$  verifica-se uma descida íngreme que tende até zero (Barreira, 2004).

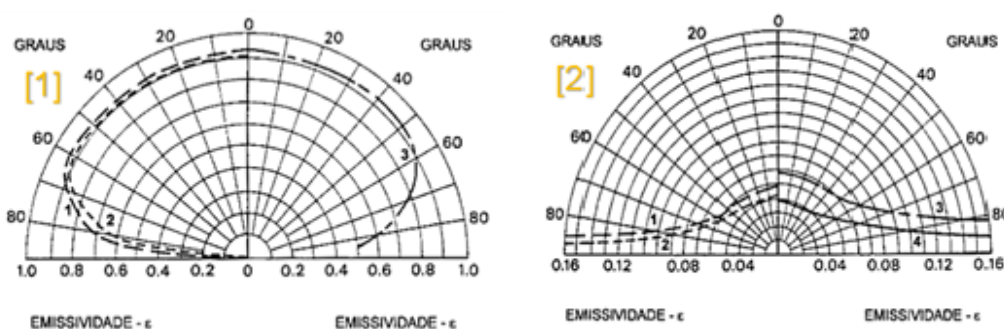


Figura 16 - Variação da emissividade em função do ângulo de observação para alguns não-metais (1) e metais (2) (Barreira, 2004)

### 3.5.5.1.2 Alteração da emissividade com a temperatura

A variação da emissividade, neste caso, é devido à modificação do estado da superfície do material pela temperatura. Podemos encontrar materiais que apresentam a emissividade independente da direção da radiação e do comprimento de onda. Para estes materiais é possível considerar a emissividade constante para uma determinada temperatura, designando-a por emissividade total (Figura 17). Estes materiais, não metais, apresentam uma emissividade total habitualmente superior a 0,80, que diminui com o aumento da temperatura. No entanto, a temperatura do meio e a temperatura dos materiais integrantes das fachadas encontram-se numa faixa na qual a emissividade não se altera expressivamente (Barreira, 2004).

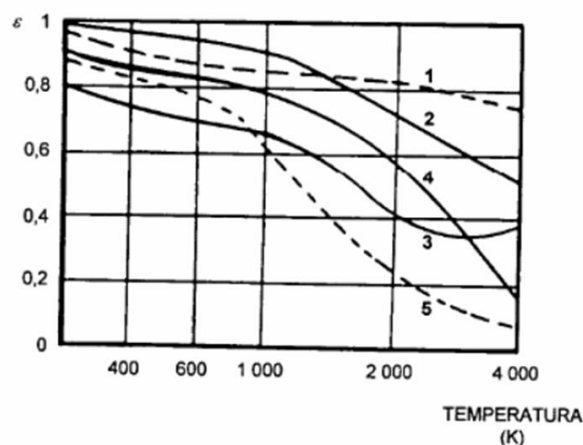


Figura 17 - Exemplo da variação da emissividade total com a temperatura de materiais não-metálicos: Borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5) (Barreira, 2004)

### 3.5.5.1.3 Alteração da emissividade com o comprimento de onda

É de Referir que nos materiais sólidos a emissividade varia com o comprimento de onda de uma forma relativamente lenta. O mesmo não se passa com os gases ou líquidos que apresentam variações acentuadas. Nos sólidos não metais a emissividade tende a aumentar com o aumento do comprimento de onda, conforme demonstra a seguinte a figura 18 (Barreira, 2004).

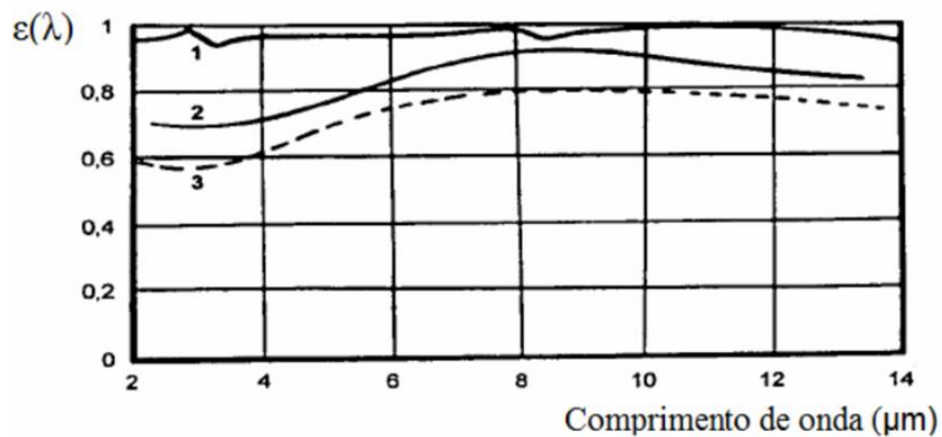


Figura 18 - Emissividade espectral de materiais não-metálicos: água (1); terra (2); plástico (3) (Barreira, 2004)

#### 3.5.5.1.4 Alteração da emissividade com a rugosidade superficial material

Neste caso, a emissividade é condicionada pelo material que constitui o corpo e pela sua condição de superfície, sendo que quanto mais áspera ou oxidada for a superfície mais alta é a emissividade (Figura 19).

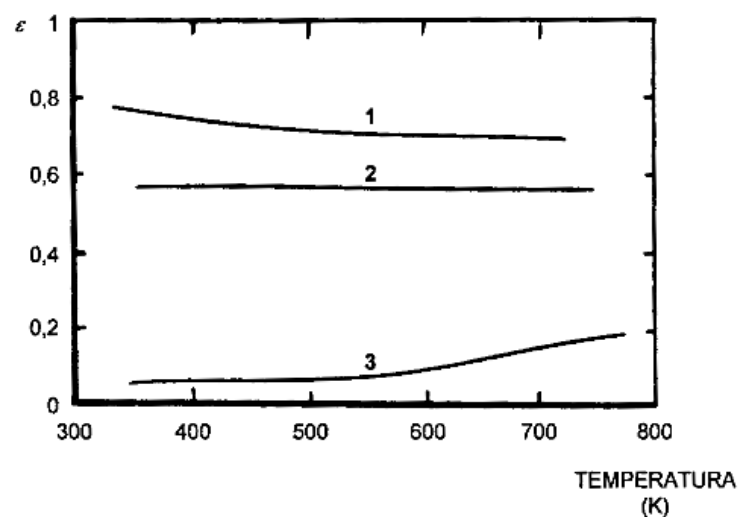


Figura 19 - Alteração da emissividade total do cobre devida a oxidação: cobre muito oxidado (1); cobre levemente oxidado (2); cobre polido (3) (Barreira, 2004)

### 3.5.5.2 Determinação da emissividade

Quando não se conhece a emissividade do material, o método mais simples é medir a temperatura da superfície com um termopar calibrado e de seguida, na câmara termográfica, vai-se variando o valor da emissividade até que temperatura lida se aproxime da definida pelo termopar. Estes valores serão o da emissividade e temperatura da superfície. Dependendo do comprimento de onda, a incerteza será  $\pm 0,05$ .

Outro método seria fazer um corpo negro operar à mesma temperatura do material em análise. Ajustar-se-ia a emissividade na câmara termográfica de modo a que a leitura no material fosse a mesma que no corpo negro, com a emissividade neste último caso ajustada para 1,0. A versão mais simples e prática desta técnica é cobrir uma parte da superfície com uma tinta preta, que possui emissividade entre 0,9 e 0,95. Podem-se igualmente esperar incertezas de  $\pm 0,05$ . Alternativamente, pode-se utilizar fita isoladora preta colada à superfície em análise, o que na prática constitui um ensaio não destrutivo quando comparado com o da tinta preta. Este método é utilizado muito comumente, e o seu procedimento descreve-se de seguida. A emissividade da fita preta (3M tipo 88) é de 0,950 para temperaturas  $< 105^{\circ}\text{C}$ . É colocado o valor de 0.950 na máquina termográfica e aponta-se para a fita preta para determinar a temperatura da superfície. Aponta-se novamente para o lado adjacente isento de fita e vai-se mudando o valor da emissividade no equipamento, até que o valor da temperatura registado seja o mesmo que a temperatura lida na fita preta. Assim, está encontrada o valor da emissividade para a superfície pretendida (Barreira, 2004) (Infratemp).



## 4 FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO CÂMARA TERMOGRÁFICA FLIR T420bx

### 4.1 Princípio básico de funcionamento de uma câmara termográfica

Todos os corpos acima do zero absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) emitem radiação infravermelha sob a forma de calor. De certa forma, quanto maior for a radiação emitida, maior é a temperatura do corpo. Esta radiação é invisível ao olho humano e a sua gama do espectro eletromagnético encontra-se, como já foi referido anteriormente, entre a luz visível e radiação de micro-ondas, situando-se no comprimento de onda do infravermelho entre 0,7 e 1000  $\mu\text{m}$ .

As câmaras de infravermelho são dispositivos que transformam de forma sistemática as imagens na faixa de radiações infravermelhas do espectro eletromagnético na faixa visível do espectro.

O seu princípio de funcionamento baseia-se no seguinte (Figura 20). A energia irradiada por um objeto é colhida por um detetor de infravermelhos através de um sistema ótico. Este detetor envia os dados a um sensor eletrónico que processa a imagem (FLIR Systems, 2010).

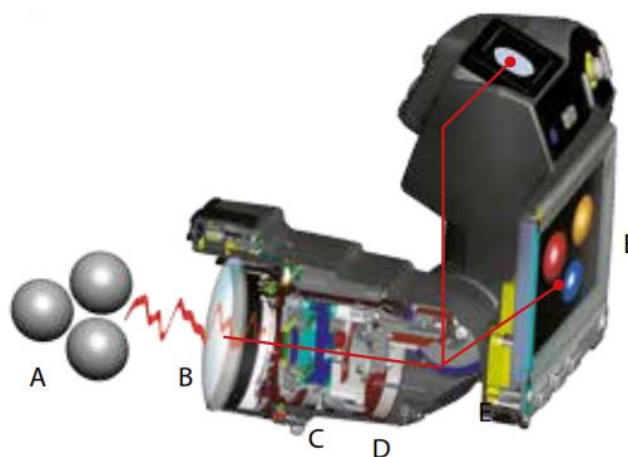


Figura 20 - A (energia infravermelha), B (sistema ótico), C (detetor de infravermelhos), D (sensor eletrónico), E (imagem), (FLIR Systems, 2010)

É importante saber que o sistema ótico das câmaras é composto por lentes de germânio, que se mostram 100% transparentes ao infravermelho, sendo todavia totalmente opacas à luz visível. É de conhecimento geral que o vidro apresenta propriedades inversas, sendo totalmente transparente à luz visível, mas opaco aos infravermelhos (Figura 21).

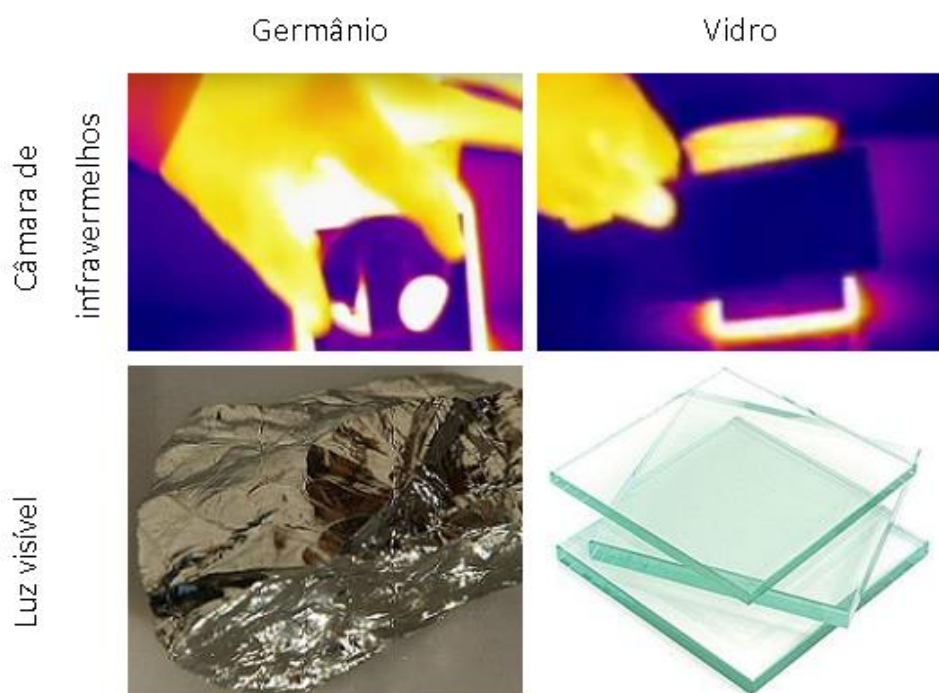


Figura 21 - Transparência e opacidade do vidro e do germânio, (Adaptado de Advanced Training Center, s.d.)

## 4.2 Equipamento Flir T420bx

O equipamento utilizado para diagnóstico foi uma câmara termográfica FLIR T420bx (Figura 22), equipada com o conjunto de acessórios constantes na Tabela 1.



Figura 22 - Equipamento termográfico utilizado



Tabela 1 - Acessórios padrão do equipamento Flir T420bx

Item	Nomenclatura	Função
1	Máquina	
2	Baterias (2 un)	
3	Cartão de memória extra	
4	Carregador de bateria autónomo	Liga-se ao transformador para carregar as baterias
5	Escudo solar	Para poder ver mais facilmente o ecrã LCD quando estiver ao sol.
6	Outros acessórios (cabos de ligação, etc.)	

### 4.3 Características do equipamento Flir T420bx

A câmara de infravermelha modelo T420bx fabricada pela empresa FLIR SYSTEMS revela as seguintes características (Flir):

- ✓ Função UltraMax e MSX;
- ✓ Alta sensibilidade térmica;
- ✓ Câmara visual de alta qualidade;
- ✓ Lentes infravermelhas; intercambiáveis;
- ✓ MPEG-4;
- ✓ Fusão térmica;
- ✓ Alarmes sonoros e visuais na temperatura;
- ✓ Picture in Picture;
- ✓ Comentários de texto e de voz;
- ✓ Esboço anotações;
- ✓ Esboço imagem;
- ✓ Vídeo radiométrico;
- ✓ Radiométrica JPEG;
- ✓ Touchscreen;
- ✓ Alarme de humidade / Isolamento;
- ✓ Relatórios instantâneos.

No anexo A2 estão indicadas as características técnicas do equipamento pertencente ao laboratório de Física das Construções do Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

### 4.4 Designação e funções dos comandos do equipamento Flir T420bx

Apresentam-se de seguida a designação e funções dos comandos da câmara FLIR T420bx, existentes quer na sua face posterior, quer na sua face frontal (Figuras 23 e 24 e Tabelas 2 e 3).

#### 4.4.1 Perspetiva posterior

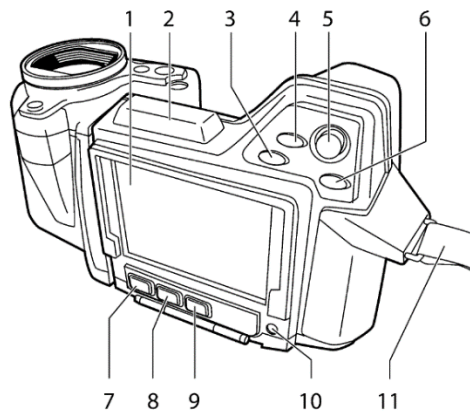


Figura 23 - Perspetiva posterior Flir T420bx (FLIR Systems)

Tabela 2 - Designação e funções dos comandos na perspetiva posterior da Flir T420bx (FLIR Systems, 2010)

Item	Nomenclatura	Função
1	LCD de ecrã tátil	
2	Antena para comunicações sem fios	
3	Botão de zoom digital	
4	Botão programável	
5	Joystick	Serve para deslocar para cima/para baixo ou para a esquerda/para a direita para navegar pelos menus, nas caixas de diálogo e no arquivo de imagens.
6	Botão Menu/Retroceder	Para apresentar o menu no ecrã e para retroceder nas caixas de diálogo.
7	Botão de modo	Seleciona de modo de câmara nos seguintes modos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Câmara térmica: neste modo, a câmara captura imagens de infravermelhos.</li> <li>• Câmara digital: neste modo, a câmara captura imagens visuais.</li> <li>• Fusão térmica: neste modo, a câmara captura imagens nas quais algumas partes são apresentadas como imagens de infravermelhos e outras como imagens visuais, dependendo da temperatura.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imagem na Imagem: neste modo, a câmara captura uma imagem em que a parte central é apresentada como imagem de infravermelhos e a moldura externa como imagem visual.</li> <li>• MSX (Imagem Dinâmica Multi Espectral): neste modo, a câmara captura imagens de infravermelhos nas quais os contornos dos objetos estão mais definidos.</li> </ul>
8	Botão A/M	<p>Alterna entre os modos de ajuste automático e manual.</p> <p>Os modos de ajuste manual que podem ser selecionados são os seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual: neste modo, o nível de temperatura máximo e mínimo na escala pode ser alterado ao mesmo tempo, premindo o joystick para cima/baixo. A amplitude da temperatura pode ser alterada premindo o joystick para a esquerda/direita.</li> <li>• Mínimo manual: neste modo, o nível de temperatura mínimo da escala pode ser alterado premindo o joystick para cima/baixo, enquanto o nível de temperatura máximo se mantém fixo.</li> <li>• Máximo manual: neste modo, o nível de temperatura máximo pode ser alterado premindo o joystick para cima/baixo, enquanto o nível de temperatura mínimo se mantém fixo.</li> </ul>
9	Botão de arquivo	Abre e fecha a galeria de imagens.
10	Botão Ligar e Desligar	Botão para ligar e desligar a câmara.
11	Correia de mão	

#### 4.4.2 Perspetiva frontal

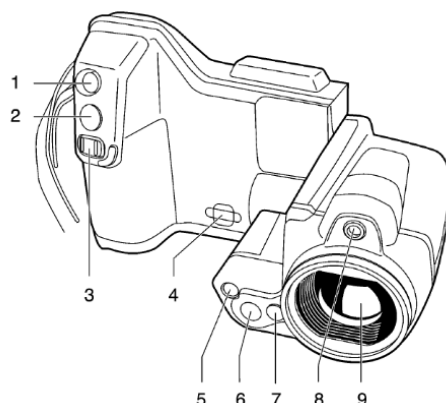


Figura 24 - Perspetiva frontal Flir T420bx (FLIR Systems)

Tabela 3 - Tabela dos nomes e funções de peças na perspetiva Frontal da Flir T420bx (FLIR Systems, 2010)

Item	Nomenclatura	Função
1	Botão do ponteiro de laser	
2	Pré-visualizar/Guardar  Focagem automática	Guarda simultaneamente uma imagem de infravermelhos e uma fotografia digital. Focagem automática quando se prime o botão até meio
3	Botão de focagem	Desloca-se para a esquerda/direita para a câmara focar manualmente.
4	Ponto de fixação da fita para o pescoço.	
5	Lâmpada do vídeo.	
6	Lente da câmara digital.	
7	Botão de libertação para lentes de infravermelhos adicionais	
8	Ponteiro laser.	
9	Lente de infravermelhos.	

## 4.5 Métodos de Aplicação da Termografia

A termografia por infravermelho pode ser utilizada de modo qualitativo ou quantitativo, dependendo do tipo de análise desejado.

### 4.5.1 Termografia qualitativa

Designa-se por termografia qualitativa quando a parte interessante na análise é o perfil e não os valores térmicos apresentados, registando apenas a diferença local da temperatura superficial na superfície.

### 4.5.2 Termografia quantitativa

É através deste método que se define o nível de gravidade de uma anomalia. A análise da imagem térmica passa por quantificar as variações de temperatura superficial existentes que poderão indicar uma anomalia na superfície.

### 4.5.3 Termografia passiva

Sousa (2010), refere que na termografia passiva o estudo ocorre sem a interferência de qualquer fonte artificial externa de aquecimento (ou arrefecimento) ao estado

natural da superfície, a qual se encontra a uma temperatura normalmente superior à temperatura ambiente. Neste caso, é considerada como fonte natural a irradiação solar ou o calor proveniente do próprio processo.

#### 4.5.4 Termografia ativa

Na termografia ativa, à superfície em estudo é aplicado um estímulo de energia artificial, com aquecimento ou arrefecimento, de modo a produzir um contraste térmico em zonas que se encontram em equilíbrio térmico. A captação da imagem termográfica é realizada durante o período de retorno ao estado de equilíbrio térmico (Sousa, 2010).

#### 4.6 Fatores que influenciam a medição da temperatura

Como é já sabido, a termografia é um meio de diagnóstico não destrutivo de medição da temperatura sem contacto físico. No entanto, a radiação medida pela câmara não depende apenas da temperatura do objeto, mas varia também em função da emissividade e de outros fatores externos e internos.

Os fatores externos que influenciam a medição da temperatura são intitulados de parâmetros do objeto e devem ser introduzidos pelo utilizador no equipamento, sendo esses os seguintes:

- ✓ A emissividade do objeto
- ✓ A temperatura aparente refletida
- ✓ A distância entre o objeto e a câmara
- ✓ A humidade relativa
- ✓ Temperatura da atmosfera

Nos fatores internos podem-se enunciar os ocorridos no “caminho ótico”, como lentes e espelhos que provocam alterações à radiação emitida pelo corpo do qual a temperatura se pretende medir.



## 5 APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA AOS EDIFÍCIOS

A aplicação da termografia nos edifícios tem como princípio detetar diferenças nos padrões de temperatura dos elementos da construção, de modo a se determinar a existência de anomalias. Deste modo, por meio de uma análise não destrutiva em edifícios, as câmaras termográficas de infravermelhos permite-nos descobrir diversos problemas em elementos da construção que são de extrema dificuldade de detetar por outros meios.

Em edifícios, este meio de diagnóstico pode ser utilizado para identificar infiltração de humidade em paredes e coberturas, identificar locais de perdas de calor ou de frio, identificar o traçado de tubagens, localizar elementos estruturais embebidos em paredes, ou detetar a existência de colónias de insetos no interior de elementos de madeira da construção, sendo pois uma técnica de análise económica, de tempo real e, como já referido, não destrutiva.

### 5.1 Meios de diagnóstico e fiscalização do comportamento higrotérmico de edifícios

Em princípio, o cumprimento da regulamentação vigente no domínio do desempenho energético dos edifícios seria a garantia do seu bom comportamento térmico. No entanto, outros fatores contribuem para que não se verifique o desempenho térmico esperado, por razões associadas a falhas durante a fase de execução de pormenores construtivos, por opções menos bem-sucedidas na escolha dos materiais, e técnicas aplicadas, como também pela degradação da envolvente devida ao decorrer do tempo, seja por influências ambientais, por comportamentos estruturais ou pelo desgaste devido à utilização dos edifícios.

Neste sentido, será boa prática proceder à inspeção dos edifícios, para confirmar que estes apresentam o desejado comportamento térmico. Tal poderá ser conseguido com a utilização de meios de diagnóstico, como os de medição In-situ de fluxos de calor para determinação da resistência térmica (ISO 9869), ou por intermédio de termografia infravermelha (Figura 25).



Figura 25 - Equipamento de medição In-situ de fluxo de calor (1), (Januário & Sousa) e Termografia Infravermelha (2), (Flir)

## 5.2 Fatores com impacto no desempenho térmico de edifícios

Em edifícios, existem diversos fatores que condicionam o seu desempenho térmico. Contudo, importa seleccionar aqueles que se julga terem um maior contributo nesse desempenho, por se tornar na prática impossível controlar todos os fatores com impacto neste domínio. Enumeram-se de seguida os fatores essenciais do domínio passivo com relevância quer na estação de aquecimento, quer na estação de arrefecimento:

- i) Coeficiente de transmissão térmica dos elementos opacos da envolvente;
- ii) Coeficiente de transmissão térmica e fator solar dos envidraçados da envolvente;
- iii) Relação entre área de envidraçados e a área de fachada;
- iv) Pontes térmicas planas e pontes térmicas lineares;
- v) Inércia térmica;
- vi) Número de renovações horárias de ar verificadas no volume útil do edifício.

## 5.3 Isolamento térmico

Nos edifícios, o isolamento pode ser de modo geral aplicado de três modos diferentes: pelo exterior do paramento, pelo interior do paramento e no interior de paredes duplas.



A aplicação do isolamento térmico pelo exterior torna-se em regra mais eficaz, muito particularmente adaptada, entre outros, ao caso dos edifícios habitacionais. Esta técnica de aplicação oferece a vantagem do isolamento cobrir todas as superfícies expostas ao ambiente exterior, eliminando as pontes térmicas e consequentemente, minimizando as perdas ou ganhos de calor indesejáveis e tornando-se uma solução que comporta uma boa estabilidade das condições de conforto no ciclo diário, ocasionado pelo efeito da inércia térmica da massa do edifício, por se encontrar no interior da camada de isolamento térmico.

Ao contrário da solução anterior, a aplicação do isolamento pelo interior adaptar-se-á melhor a edifícios fortemente climatizados com utilização predominantemente diurna, como é o caso dos edifícios de serviços, visto que, durante os períodos de ocupação, a temperatura de conforto pode ser atingida num curto espaço de tempo com os equipamentos de climatização. Contudo, esta solução apresenta debilidades consideráveis, já que pode não eliminar todas as pontes térmicas, não previne *per si* condensações no miolo da envolvente pela face exterior do isolamento, nem permite o melhor aproveitamento da inércia térmica do edifício.

Por último, o isolamento térmico aplicado no interior de paredes duplas só adquire eficácia com a correção das pontes térmicas, aplicando o isolamento nos troços onde haja descontinuidade da caixa-de-ar devido à existência de pilares, vigas, vãos e outros elementos construtivos. A não correção destas pontes térmicas originará zonas frias no paramento, que proporcionam o aparecimento de condensação e humidade no interior.

Os isolantes térmicos aplicados em paredes devem ser impermeáveis à água mas permeáveis ao vapor, desta forma permitindo a difusão do vapor produzido no interior dos edifícios pela presença humana e favorecendo a redução da humidade no interior. Estas características não são relevantes para o isolamento aplicado em coberturas e pisos, porque habitualmente nestes casos existe pela face quente do isolamento uma camada impermeabilizante que constitui uma barreira ao vapor.

As características dos vãos envidraçados exteriores, conjugadas com os correspondentes dispositivos de sombreamento e proteção, devem, no inverno, favorecer os ganhos solares por radiação e evitar as perdas por condução, e no verão promover a redução dos ganhos solares diretos por radiação e a ventilação, de modo a evitar o sobreaquecimento no interior.

#### 5.4 Utilização da termografia para reconhecimento de pontes térmicas em fachadas de edifícios

Definem-se como pontes térmicas planas as partes descontínuas ou singulares do isolamento térmico da envolvente, e como pontes térmicas lineares as zonas de ligação de dois elementos e/ou materiais diferentes na sua composição e resistência térmica.

O calor trespassa mais rapidamente os paramentos das fachadas através das pontes térmicas, originando o aparecimento de condensações de água e a formação de fungos no interior do edifício, como também perdas localizadas de calor para o exterior do edifício em situações de maiores temperaturas no interior do que no exterior, casos típicos de países de climas frios.

Neste contexto, as pontes térmicas originam uma diferente transmissão da radiação térmica, sendo assim facilmente observáveis com recurso a imagens termográficas, como pode ser observado na Figura 26.



*Figura 26 - Pontes térmicas em fachadas dos edifícios, (Astronoo, s.d.)*

#### 5.5 Utilização da termografia para deteção de passagem de ar em portas e janelas

A termografia como meio de diagnóstico é utilizada para comprovar a ausência de infiltrações de ar em ranhuras das janelas, portas, paredes, etc. Sendo, particularmente em situação de Inverno, estas infiltrações responsáveis pelo arrefecimento das zonas adjacentes, tal reflete-se de forma clara nas imagens termográficas (Figura 27).

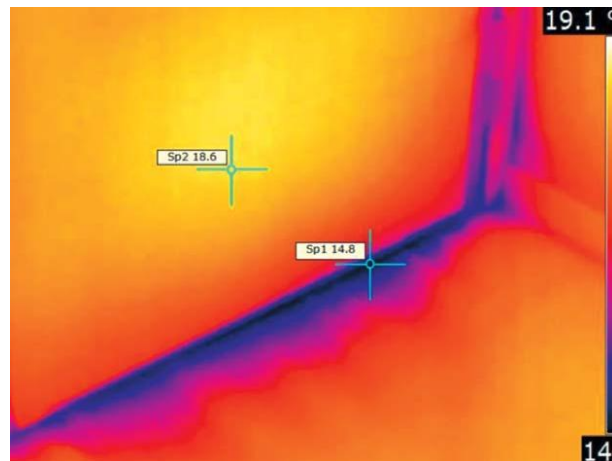


Figura 27 - Imagem de um local com entrada de ar frio, (Fundacion de de la Energía e La Comunidade de Madrid, s.d.)

## 5.6 A termografia como técnica de diagnóstico em sistema de aquecimento de pavimentos

Esta técnica de diagnóstico pode ser útil na localização de fugas de líquido no aquecimento de um piso radiante, minimizando os custos de reparação. A imagem térmica abaixo (Figura 28) reporta uma fuga na tubagem de aquecimento de um pavimento radiante.

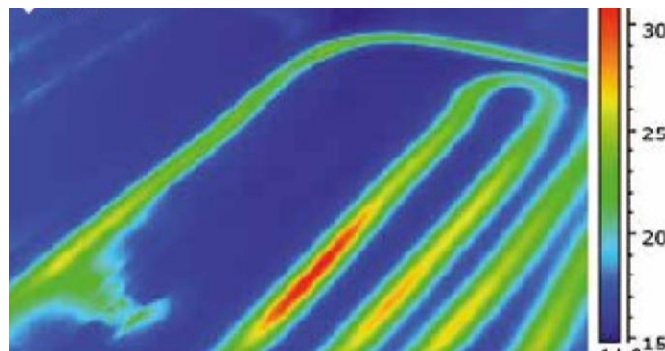


Figura 28 - A imagem térmica mostra um fuga em um sistema de aquecimento, adaptado de (FLIR Systems, 2010)

## 5.7 Detecção fugas e defeitos em tubagem de água e ar condicionado

As imagens da Figura 29 ilustram a mais-valia de uma máquina termográfica na localização de fugas e defeitos em tubagens isoladas, constituindo uma ótima

ferramenta na inspeção de sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (HVAC).

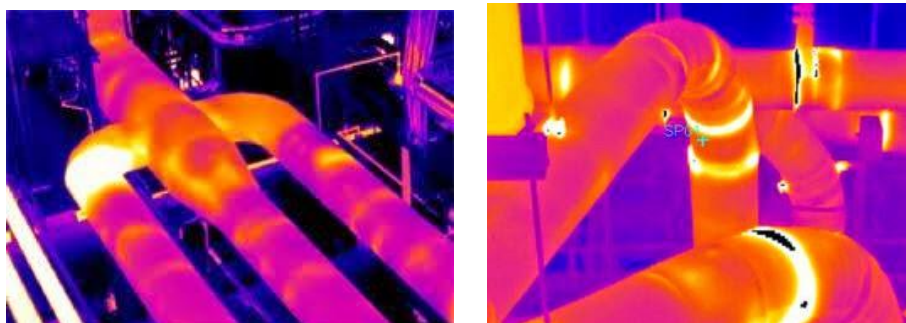


Figura 29 - Defeitos em isolamentos térmicos (R3 Técnica, s.d.)

## 5.8 Identificação de colónias de insetos em elementos de madeira

Na Figura 30 pode-se verificar a existência de colónias de insetos detetadas por um equipamento termográfico. Na imagem, a cor da temperatura da colónia de insetos contrasta com a cor da temperatura da madeira.

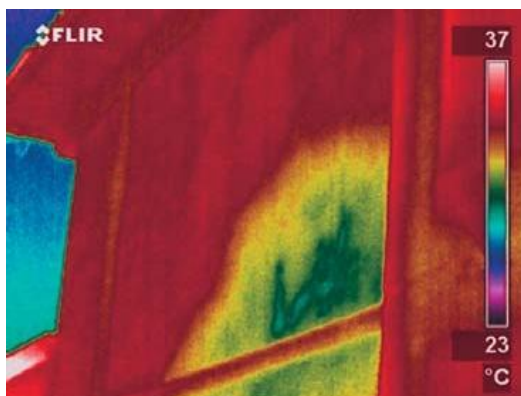


Figura 30 - Imagem de uma colónia de insetos na madeira, (Fundacion de de la Energía e La Comunidad de Madrid, s.d.)

## 5.9 Isolamento insuficiente em paramentos de edifícios

As exigências de conforto associadas às preocupações com o consumo de energia e proteção ambiental tem levado à necessidade de isolar termicamente a envolvente dos edifícios, de modo a minimizar as trocas de calor com o exterior. Neste contexto,

o isolamento de um edifício só é eficiente quando as suas características e aplicação revelam a qualidade necessária. É evidente que depois de um edifício acabado é difícil de comprovar falhas técnicas de colocação destes isolamentos, por não se tornar visível ao olho humano., No entanto, estas falhas poderão ser detetadas por um equipamento termográfico (Figura 31).



Figura 31 - Edifício parcialmente isolado, (Fundacion de de la Energía e La Comunidad de Madrid, s.d.)

### 5.10 Identificação de infiltrações

A foto e termograma da Figura 32 focam um ponto de humidade no teto originado por uma infiltração na cobertura. A diferença de temperatura localizada no material, devida à existência de um ponto de humidade, permite precisar com recurso a um equipamento termográfico a origem da infiltração.

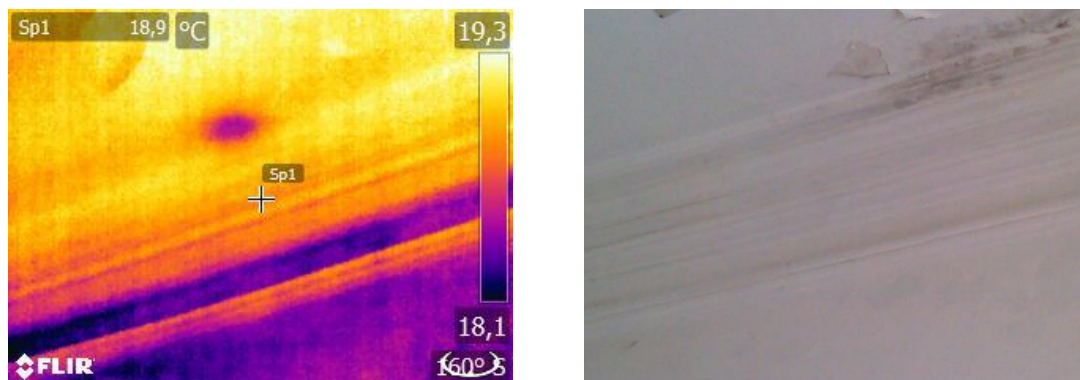


Figura 32 - Imagens de infiltrações, (fotos do autor)

### 5.11 Localização de elementos estruturais

A termografia pode permitir a visualização de elementos estruturais, inseridos numa fachada em alvenaria ou noutro elemento da envolvente. Graças ao diferencial térmico obtido entre a zona corrente da fachada e a singularidade observada, e caso o contraste térmico seja suficiente e o isolamento global da fachada não escamoteie tais diferenças de temperatura, é possível distinguir um elemento estrutural (Figura 33).

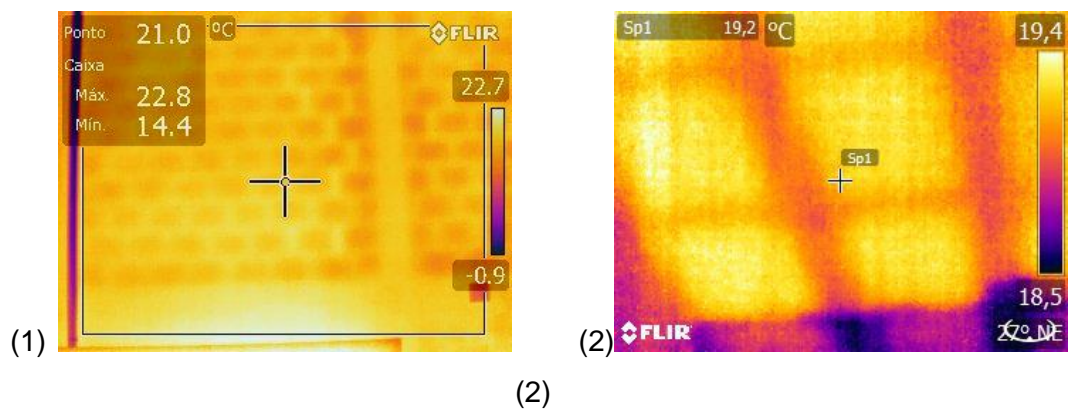


Figura 33 - Elementos estruturais identificados numa fachada (1) e teto (2) de um edifícios, (fotos do autor)

## 6 ASPETOS NORMATIVOS

A norma EN 13187 (1998) especifica uma metodologia qualitativa de deteção de irregularidades térmicas na envolvente de edifícios com recurso à termografia. A metodologia é utilizada na identificação de variações nas propriedades térmicas, nos elementos constituintes da envolvente exterior de edifícios, incluindo permeabilidade ao ar.

### 6.1 Princípios de Inspeção termográfica

A análise termográfica dos elementos da envolvente dos edifícios compreende:

- a) Determinação da distribuição de temperaturas da superfície sobre uma parte do edifício em análise, a partir de uma medição da temperatura radiante aparente obtida através de um equipamento termográfico.
- b) Determinar se a distribuição de temperaturas da superfície é “anormal”, isto é, se é devida, por exemplo, a defeitos no isolamento, entradas de ar, infiltrações, etc.
- c) E se assim for, proceder à avaliação do tipo e extensão dos defeitos, (EN 13187:1999 ).

As anomalias registadas geralmente têm origem em defeitos ao nível do isolamento térmico, à existência de humidade no elemento em análise, ou à existência de fugas de ar através da envolvente. Para determinar a origem das anomalias, as imagens termográficas obtidas deverão ser comparadas com as temperaturas previstas na extensão da superfície em análise. Para o efeito, podem ser usados processos de cálculo ou termogramas de referência como base para comparação. Quando se recorre a termogramas de referência, é necessário especial atenção, uma vez que estes só devem ser usados em casos em que o elemento em análise possua as mesmas características construtivas do elemento retratado. É igualmente necessário, que as características ambientais durante a realização do ensaio, sejam semelhantes às que se verificaram durante a recolha dos termogramas de referência (Marques, 2014) (EN 13187:1999 ).

O procedimento geral para interpretação das imagens térmicas é representado esquematicamente na figura 34.



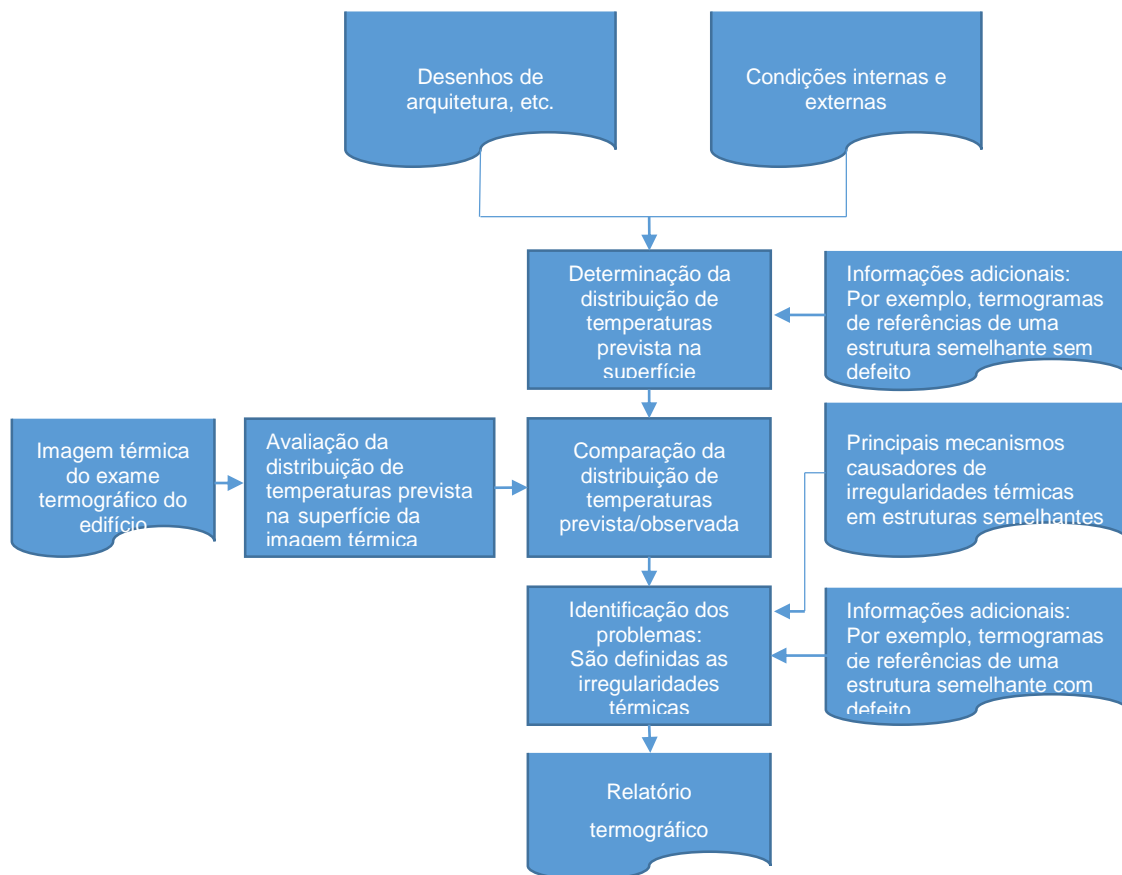


Figura 34 - Organograma do procedimento geral para interpretação das imagens térmicas (EN 13187:1999 )

## 6.2 Requisitos normativos do equipamento de termografia

O equipamento de detecção de radiação infravermelha deve englobar:

- Um sensor de radiação infravermelha que opere numa gama de radiação entre os 2 e 12  $\mu\text{m}$ , com capacidades de captar temperaturas de radiação aparente com resolução suficiente.
  - Um dispositivo que exiba e torne visível, sob a forma de imagem térmica, as temperaturas de radiação aparente da superfície a ser analisada.
  - Um dispositivo que torne possível gravar a imagem térmica e, se for caso disso, com medição em formato digital.
  - Um meio de manter estáveis os níveis de temperatura da superfície sob exame.
- Durante o período de teste, não devem ocorrer desvios significativos no sistema de detecção de radiação infravermelha, (EN 13187:1999 ).



### 6.3 Requisitos gerais de ensaio

A fim de definir os requisitos reais de ensaio, e, em particular, o lado da envolvente do edifício (exterior ou interior) a partir do qual o exame termográfico será executado, os seguintes fatores devem ser considerados:

- a) As especificações e capacidades do equipamento de termografia;
- b) As características da envolvente do edifício, ou seja, os respetivos tipos e localização dos sistemas de aquecimento, elementos estruturais e camadas isolantes;
- c) As propriedades de irradiação da superfície, por exemplo, os materiais de revestimento;
- d) Fatores climáticos;
- e) Arquitetura, Desenhos etc.;
- f) A acessibilidade para uma inspeção fácil;
- g) Influência do meio ambiente;
- h) Outros fatores que se revelem de importância significativa.

, Para a que se possa proceder à realização do ensaio, a diferença de temperatura através da envolvente deve ser suficiente para permitir a deteção de irregularidades térmicas.

O ensaio deve ser levado a cabo quando as temperaturas sejam constantes, ou seja, em períodos em que não se registem grandes variações da temperatura exterior ou interior. Para tal devem ser evitados períodos de exposição solar direta, ou quando se registre uma velocidade do vento significativa.

Este conjunto de requisitos deve ser considerado de acordo com o edifício em análise, as características da envolvente, do equipamento utilizado e do clima local (Marques, 2014) (EN 13187:1999 ).

### 6.4 Procedimentos para ensaios

Os procedimentos utilizados são baseados nos pressupostos da norma EN 13187:1998. Em primeiro lugar, é necessário analisar e examinar os desenhos e outros documentos disponibilizados referentes à envolvente do edifício. Deve também ser estimada a emissividade do material de superfície com base nas tabelas adequadas.

Devem ser registadas as informações sobre a temperatura externa do ar, a nebulosidade, a precipitação, a humidade no exterior do prédio, as condições de vento e a orientação do edifício.

Se o principal objetivo do exame termográfico é localizar fugas de ar no edifício, deve ser criada uma diferença de pressão na sua envolvente que seja de pelo menos de 5 Pa no local da inspeção, ou o exame deve ser realizado em um momento apropriado em que essa diferença de pressão se verifique. O exame termográfico deve ser realizado a partir do lado de baixa pressão.

Os efeitos resultantes de ventilação ou de fontes de calor instaladas no edifício devem ser considerados. É importante que, antes do início do ensaio, fontes de calor suscetíveis de interferir com o resultado final sejam desligadas. Objetos, peças de mobiliário, quadros, ou outros que possam de alguma forma influenciar os resultados, devem ser transferidos de lugar.

Deve-se, antes do início do exame, precisar a temperatura do ar no interior e no exterior com um grau de incerteza de  $\pm 1^\circ \text{C}$ . Quando a diferença de pressão na envolvente for determinada, esta deve ser medida com uma exatidão de  $\pm 2 \text{ Pa}$  do lado do sentido do fluxo de ar e do oposto para cada andar. Os valores observados devem ser registrados. É especialmente importante identificar a direção da diferença de pressão através da secção da envolvente do edifício e a posição do plano neutro, se houver.

Tendo em conta as condições no início do ensaio, e de acordo com as instruções, o equipamento deve ser ajustado nos parâmetros do alcance, abertura da lente e sensibilidade, de forma a melhor captar a distribuição de temperaturas expectável.

As variações de temperatura radiante aparente na imagem térmica da envolvente do edifício devem ser medidas com uma precisão de  $\pm 10\%$  ou  $\pm 0,5^\circ \text{C}$ , adotando-se o maior valor. Quando é necessário uma temperatura de superfície de referência, é recomendado que a mesma seja determinada com uma precisão de  $\pm 0,5^\circ \text{C}$ . O exame deve ser iniciado através da realização de um teste preliminar na superfície da envolvente. Os elementos da superfície de interesse especial, ou elementos que apresentam anomalias, devem ser estudados com pormenor. Os termogramas devem ser tirados a áreas seleccionadas da envolvente em análise (elementos que estão livres de defeitos, bem como elementos onde há suspeita de existência de anomalias).

De modo a decidir se uma variação na radiação a partir da superfície em causa é devida à reflexão a partir de uma outra superfície, é essencial estudar a superfície procurando diferentes posições, visto que a reflexão se irá alterar conforme a posição. As localizações dos elementos representados nos termogramas devem ser indicadas numa planta ou esboço do edifício. O padrão de temperatura radiante

aparente deve ser calculado de acordo com as instruções de utilização do equipamento. Torna-se primordial que a emissividade e os efeitos de reflexão sejam considerados ou mesmo compensados quando esses padrões são utilizados para calcular variações reais de temperatura da superfície.

Se os termogramas assinalarem fuga de ar, esta deve ser verificada por meio de medições da velocidade do ar. Se for preciso, devem-se calcular os fatores influenciadores do coeficiente de transferência de calor na superfície interior da envolvente, tais como o fluxo de ar, a radiação térmica, ou a condensação de humidade.

## 6.5 Metodologia

A metodologia utilizada foi baseada nos pressupostos da norma EN 13187:1998. Numa primeira fase, analisou-se os desenhos e toda a informação disponibilizada referentes aos elementos construtivos e a envolvente do edifício.

Em trabalhos preliminares, estimou-se a emissividade do material, registou-se as informações sobre a temperatura externa do ar, a nebulosidade, a precipitação, a humidade no exterior do prédio, as condições de vento e a orientação do edifício. Foram recolhidos termogramas do exterior e interior do edifício de forma a obter uma análise geral das fachadas pelo método qualitativo, para deteção das anomalias mais evidentes. É de salientar que nesta abordagem inicial do trabalho não estavam satisfeitos todos os requisitos para a realização de um ensaio termográfico, visto o diferencial de temperatura ser de apenas 5°C. No entanto tal serviu como base de preparação para a realização dos trabalhos de campo. Em trabalhos de campo, reunidas as condições de ensaio, foram feitas recolhas dos termogramas com ambientes de temperaturas exteriores negativas (inverno), nos períodos do início do dia e final da tarde. Por fim, foram feitas as análises dos termogramas recolhidos e propostas medidas de melhoria para as anomalias detetadas no edifício.

Para melhor se perceber a metodologia utilizada, foi elaborado um gráfico cronológico dos passos realizados, conforme patente na figura seguinte.

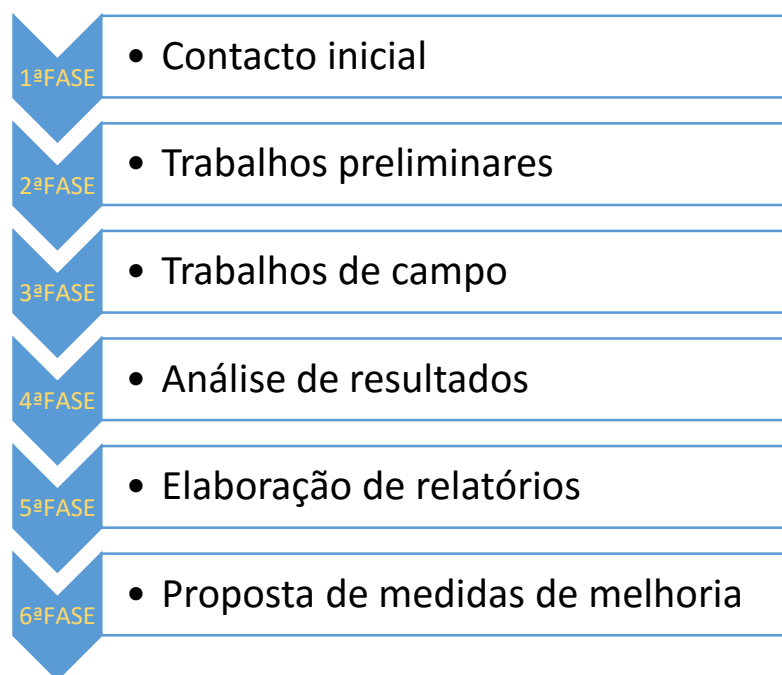


Figura 35 - Gráfico cronológico dos passos realizados

## 7 CASO DE ESTUDO

### 7.1 Descrição geral do edifício – Biblioteca Barbosa Romero

A Biblioteca Barbosa Romero, inaugurada em 2001, encontra-se situada no campus da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, na Avenida do Atlântico, em Viana do Castelo, tem capacidade para 3.500 pessoas e é uma obra de referência da autoria do Arquiteto Bernardo Távora. A Biblioteca encontra-se junto à orla costeira de Viana do Castelo, numa área com uma climatologia algo agressiva, caracterizada pela ocorrência de ventos fortes e grande pluviosidade.



Figura 36 - Imagens da Biblioteca Barbosa Romero, fonte (3dwarehouse, s.d.), (Google Earth)

A sala principal da biblioteca localiza-se no R/C ( piso 0) do edifício, aí estando acondicionas todas as publicações em formatos de papel e CD. O piso 0 da biblioteca está equipado com um terminal de pesquisa ligado à internet, de acesso livre a todos os utilizadores, instalações sanitárias, salas de estudo, escadas, elevador de acesso ao piso superior e outros gabinetes de apoio à biblioteca.

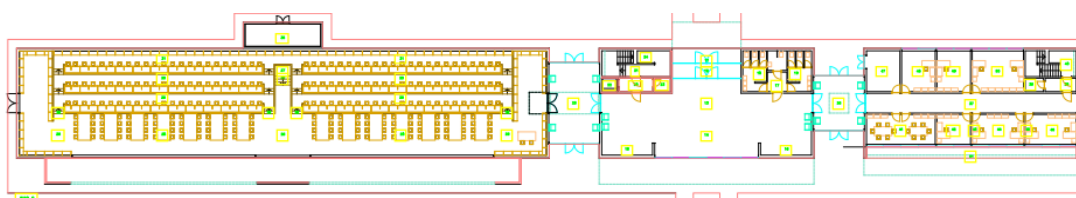


Figura 37 - Planta piso 0 (R/C)

No essencial, o piso 1 é composto por um gabinete de cartografia, videoteca / biblioteca de sons, gabinetes de estudo para grupos, gabinetes de estudo individuais, escadas e elevador de acesso.

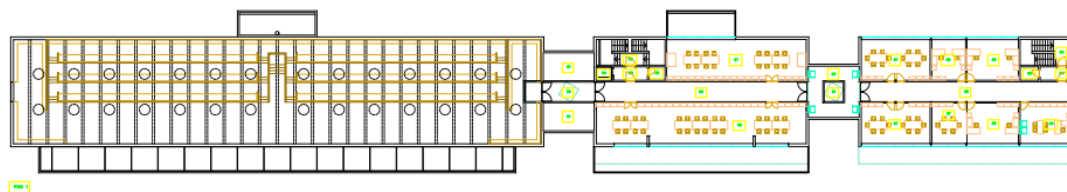


Figura 38 - Planta Piso 1

O último piso (piso 2) refere-se a um laboratório de línguas equipado com uma sala de trabalho, escadas e elevador de acesso.

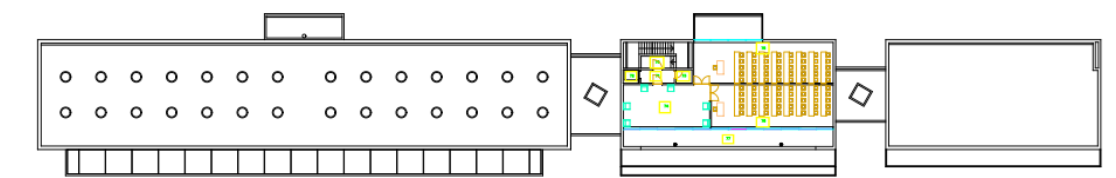


Figura 39 - Planta piso 2

Por último, no Piso -1 encontram-se os depósitos de livros e caldeiras de aquecimento.

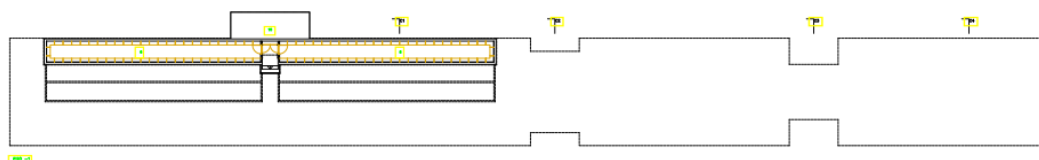


Figura 40 - Planta piso -1

## 7.2 Âmbito do caso de estudo

O caso de estudo incide na análise termográfica da envolvente exterior da Biblioteca Barbosa Romero da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Pretende-se com esta análise avaliar o comportamento dos paramentos, coberturas e envidraçados, assim como de outros elementos do edifício que contribuem para o seu desempenho higratérmico, assim como identificar eventuais patologias de outra natureza identificáveis na envolvente.

## 7.3 Constituição dos elementos construtivos

### 7.3.1 Paredes exteriores

As fachadas são compostas por paramentos de betão armado com pintura à cor creme, revestidos com sistema ETICS. O sistema é composto por bucha plástica de fixação para EPS, Placas de EPS com 40mm, rede de reforço de fibra de vidro de 160g/m<sup>2</sup>, primário fixador e revestimento acrílico rústico na cor creme. De referir que desde a cota de soleira até 1,2m de altura, a parede não é revestida por sistema ETICS nem apresenta qualquer tipo de isolamento, conforme mostra a Figura 41.



Figura 41 - Corte; parede simples, isolamento pelo exterior

### 7.3.2 Envidraçados

Os vãos envidraçados da envolvente do edifício são executados em caixilharia de alumínio anodizado acetinado, com vidro laminado num sistema de vidro duplo 6-6-4.

### 7.3.3 Coberturas

O edifício possui uma cobertura plana invertida não acessível, constituída por laje maciça em betão armado com uma camada superficial de argamassa de cimento, para regularização e definição das pendentes para escoamento das águas pluviais.

Acima desta superfície está colocada a camada de impermeabilização e o isolamento térmico conforme consta da Figura 42.

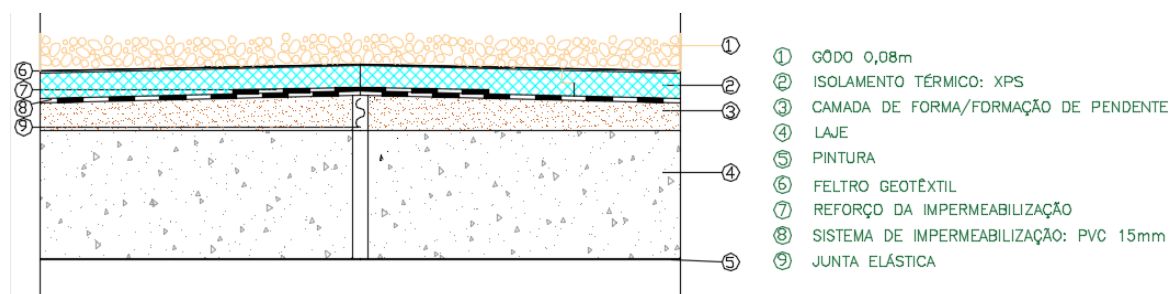


Figura 42 - Corte; Isolamento térmico de cobertura invertida não transitável, acabamento em gôdo

#### 7.3.4 Interior do edifício

O interior do edifício encontra-se revestido pelo teto com placas de gesso cartonado, sendo as paredes acabadas a estuque e o piso forrado com placas de pedra calcária de tons creme. Para manter o edifício à temperatura de serviço na estação fria, este está equipado com um sistema de climatização, que garante o aquecimento através de um conjunto de radiadores distribuídos pelas diferentes divisões.

#### 7.4 Orientação do edifício

Como é sabido, a orientação do edifício influencia o seu comportamento higrotérmico, consoante as fachadas estão mais ou menos expostas à incidência solar. A Figura 43 reporta a orientação do edifício segundo os pontos cardiais.

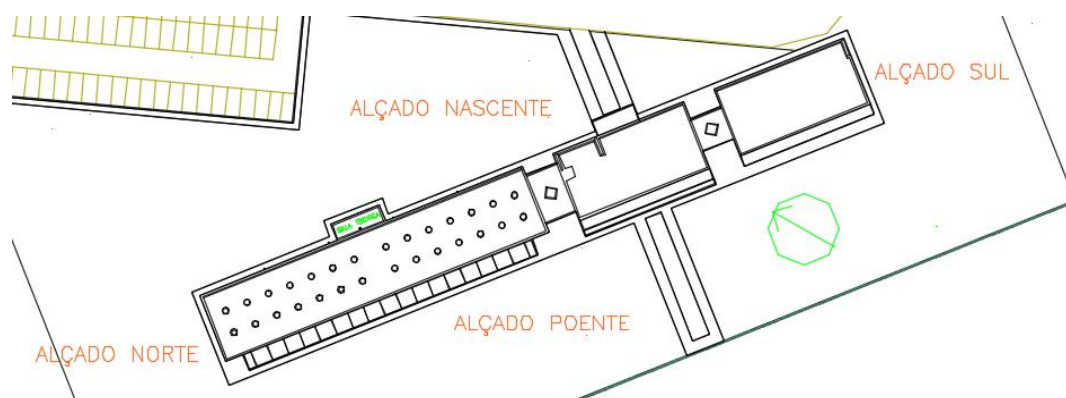


Figura 43 - Orientação do edifício segundo os pontos cardiais



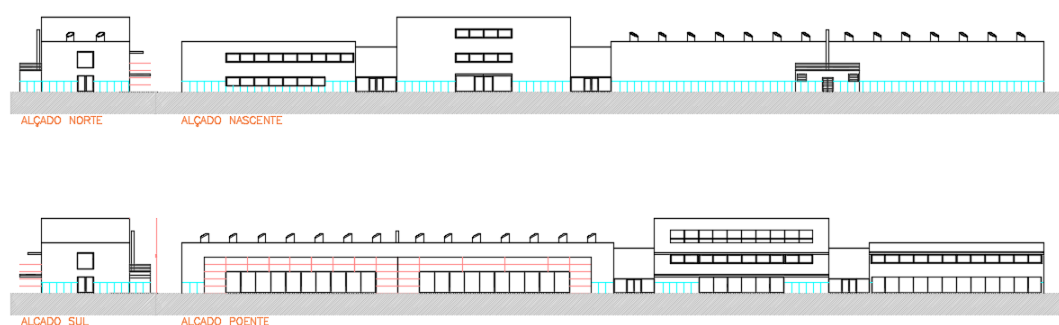


Figura 44 - Alçados do edifício

## 7.5 Trabalho de campo

### 7.5.1 Localização dos ensaios no edifício

A referência dos termogramas determina o local de recolha de dados no edifício, sendo que, pelo número de referência do termograma será identificada a sua localização por orientação e fachada ou cobertura a que se refere, de acordo com as seguintes plantas (Figura 45).

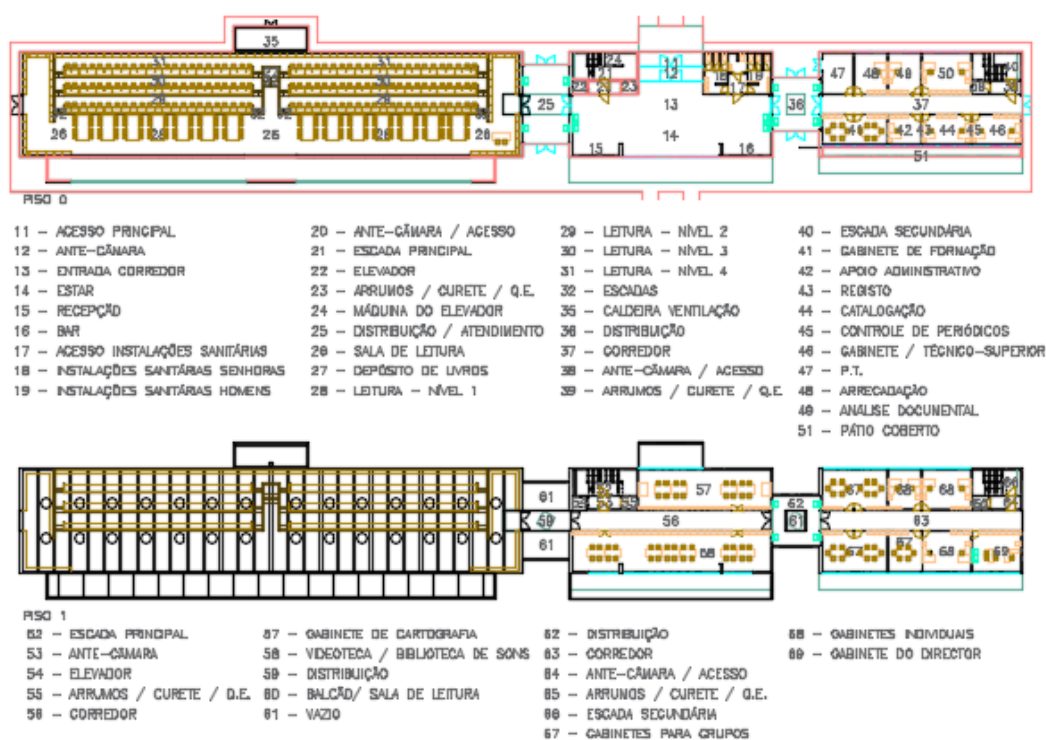


Figura 45 - Plantas de divisões do edifício

Foram atribuídas as siglas (N) para norte, (S) para sul, (Na) para nascente, (Po) para poente, (C) para cobertura, (E) para exterior e (I) para interior, de forma a identificar o local de recolha dos termogramas. Assim, um termograma com referência I-01Po43 refere-se a um exemplar número (1) recolhido no ambiente interior (I) da sala de registo (43), fachada a poente (Po). Também um termograma com referência E-05Po refere-se a um exemplar número (5) recolhido a poente (Po), em ambiente exterior (E).

### 7.5.2 Caracterização dos ensaios

No desenvolver do trabalho em campo foram recolhidos termogramas das envolventes do edifício e avaliadas as respetivas temperaturas, humidades e anotadas as condições climáticas das suas envolventes. Estes ensaios ocorreram em 06/01/2016 em condições de precipitação e em 12/01/2016 sem precipitação, como termogramas complementares para comparação. Durante os ensaios na data de 06/01/2016, foram primeiro recolhidos os termogramas da fachada a poente, de seguida foi feito um varrimento pelo interior em busca de diferenças nos padrões de temperatura para deteção de possíveis patologias nas envolventes interiores, por fim, já no fim do período da tarde, recolheram-se os restantes termogramas das fachadas pelo seu exterior. Em 12/01/2016 foram feitas mais recolhas de termogramas na envolvente exterior, com o intuito de se comparar o comportamento higratérmico do edifício com as duas condições climáticas. As emissividades atribuídas nos ensaios foram as tabeladas no equipamento de medição Flir T420bx, que serviu para medir diferenças nos padrões de temperatura, sendo as temperaturas superficiais medidas com a sonda T&D Wireless Thermo Recorder RTR-501 e a temperatura ambiente e a humidade com a sonda T&D Wireless Thermo Recorder RTR-503.

## 7.5.3 Quadros de dados

### 7.5.3.1 Dados gerais das condições de inspeção

Quadro 4 - Dados gerais do edifício

Dados gerais		
Data da inspeção	06/01/2016	12/01/2016
Hora início da inspeção	09H00	
Tipo de edifício	Biblioteca Escolar	
Localização do edifício	Avenida do Atlântico 4900-348 Viana do Castelo	

Quadro 5 - Condições climáticas durante a inspeção

Condições climáticas durante a inspeção				
	06/01/2016	12/01/2016		Modo de obtenção do valor
Temperatura interior	17	21	°C	Wireless Thermo Recorder RTR-503
Temperatura exterior	12	9	°C	Wireless Thermo Recorder RTR-503
Humidade relativa interior	62	61	%	Wireless Thermo Recorder RTR-503
Humidade relativa exterior	70	55	%	Wireless Thermo Recorder RTR-503
Diferença de temperaturas	5	12	°C	
Precipitação	14,9	0	[mm]	(Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., s.d.)
Velocidade vento	50	15	[Km/h]	(Tempo, 2016)
	Componente		Sudoeste	

Quadro 6 - Instrumentos e equipamentos utilizados durante a inspeção

Instrumentos e equipamentos utilizados durante a inspeção		
Instrumentos/equipamento	Marca/modelo	Caraterísticas
Instrumento de medição de temperatura	T & D Corporation RTR-501	Mede temperatura superficial
Instrumento de medição de temperatura Ambiente e percentagem de humidade	T & D Corporation RTR-502	Mede temperatura Ambiente e percentagem de humidades
Equipamento de termografia	Flir T420bx	Deteta diferenças nos padrões de temperatura dos elementos da construção

### 7.5.3.2 Dados da envolvente exterior

Quadro 7 - Condições da envolvente exterior durante a inspeção

Alçados	Data	Condições de nebulosidade	Humidade	Temperatura
Norte	06/01/2016	Céu nublado	70%	12
Sul	06/01/2016	Céu nublado	69%	12
Nascente	06/01/2016	Céu nublado	70%	12
Poente	06/01/2016	Céu nublado	70%	12
Norte	12/01/2016	Céu quase limpo	55%	9
Sul	12/01/2016	Céu quase limpo	55%	9
Nascente	12/01/2016	Céu quase limpo	55%	8
Poente	12/01/2016	Céu quase limpo	55%	9

A seguinte imagem (Figura 46) descreve o modelo de ensaio feito na envolvente exterior do edifício.

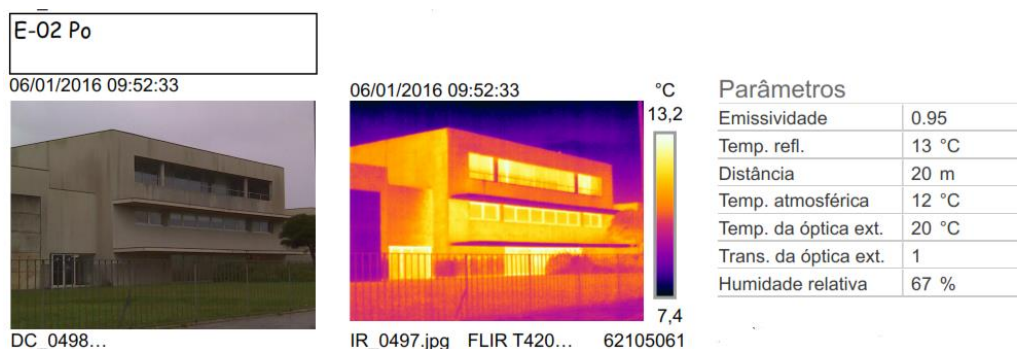


Figura 46 - Exemplar de imagem, termograma e parâmetros da envolvente exterior do edifício

Os restantes dados, fotografias e termogramas podem ser consultados no anexo A3.

### 7.5.3.3 Dados da envolvente interior

Quadro 8 - Condições da envolvente interior durante a inspeção

Condições da envolvente interior durante a inspeção				
Pisos	Data	Condições de estímulo de energia artificial	Humidade	Temperatura ambiente
-1	06/01/2016	Não inspecionado	-	-
0	06/01/2016	Com aquecimento ligado	69%	17
1	06/01/2016	Com aquecimento ligado	70%	17
2	06/01/2016	Não inspecionado	-	-
-1	12/01/2016	Não inspecionado	-	-
0	12/01/2016	Com aquecimento ligado	69%	21
1	12/01/2016	Com aquecimento ligado	70%	21
2	12/01/2016	Não inspecionado	-	-

A Figura 47 descreve o modelo de ensaio feito na envolvente interior do edifício.

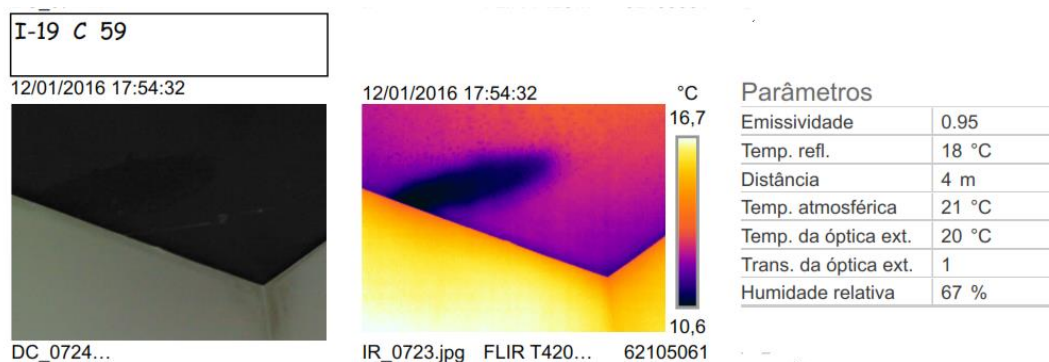


Figura 47 - Exemplar de imagem, termograma e parâmetros da envolvente interior do edifício

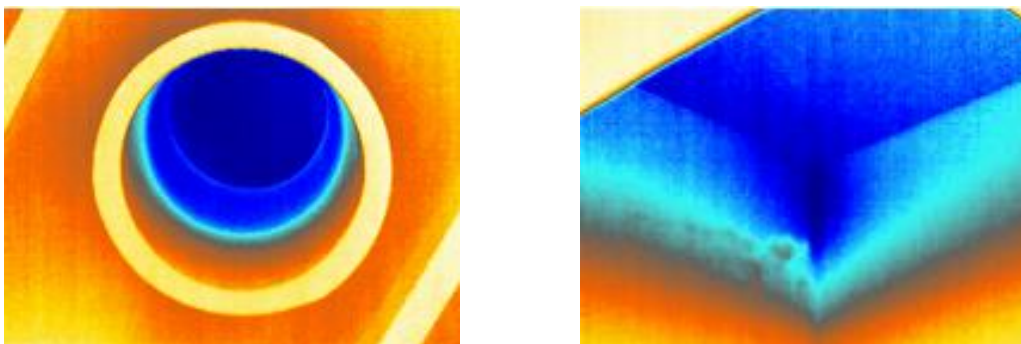
Os restantes dados, fotografias e termogramas podem ser consultados no anexo A3.

## 7.6 Análise de resultados

No decurso da análise de resultados, vão sendo referenciadas as patologias higrotérmicas (ou eventualmente de outra natureza) caso a caso, de forma a serem reportadas as medidas de melhoria a adotar em cada situação.

### 7.6.1 Coberturas

Caso 1 - A análise termográfica permite-nos concluir que o isolamento da cobertura do edifício é o esperado, não existindo perdas térmicas significativas pela laje de cobertura. No entanto, notam-se grandes perdas de energia pelas cúpulas arquitetónicas de entrada de iluminação natural (fotogramas de referência I-04 C 26 e I-08 C 59), pelo facto destas serem constituídas por um envidraçado de vidro simples.



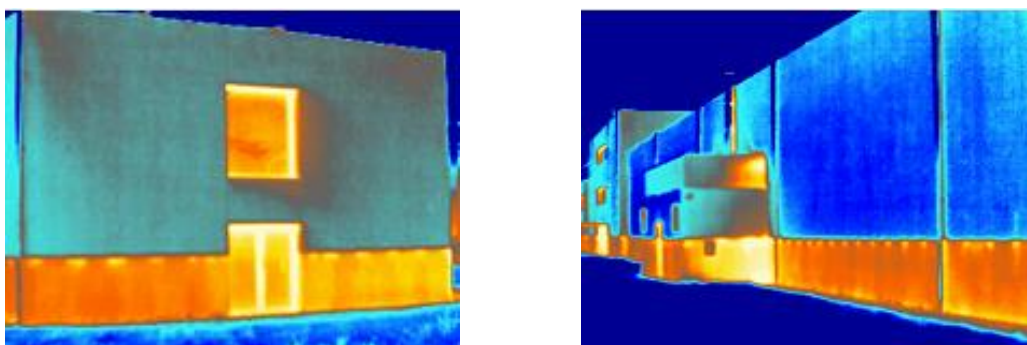
*Figura 48 - Perdas de calor pelas cúpulas arquitetónicas*

Caso 2 – Indicação de pequena infiltração ou condensação na cúpula arquitetónica de entrada de iluminação natural (fotograma de referência I-12 Na 61), a última provavelmente devida a falta de isolamento na parede de elevação da cúpula em relação à laje de cobertura.

Caso 3 - No fotograma de referência (I-18 Na C N 26) é visível uma mínima diferença nos padrões de temperatura que poderá dar a entender a existência de uma infiltração ou condensação. Também se podem verificar a existência de pontes térmicas lineares na união das fachadas com as coberturas, o que é uma situação perfeitamente expectável e por isso se encontra contemplada pela norma EN 13187:1998, no seu anexo B.

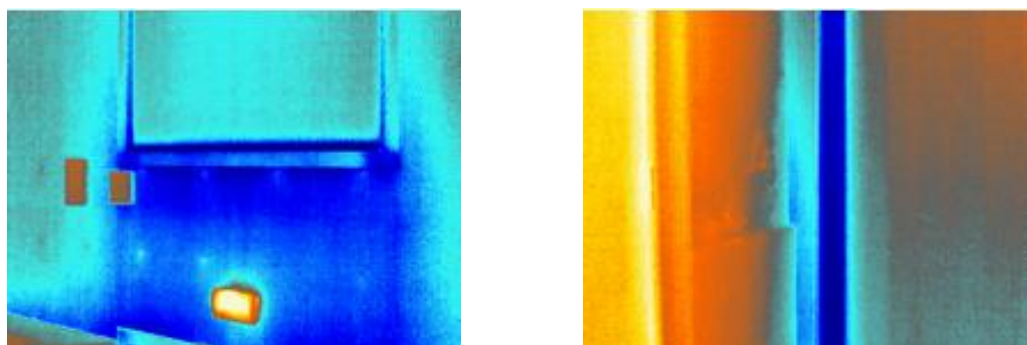
## 7.6.2 Paredes exteriores

**Caso 4** - Pela análise termográfica conclui-se que o isolamento das fachadas do edifício é o esperado. Porém, existem perdas significativas de calor pelas fachadas na parte inferior do paramento com falta de isolamento, como já era esperado. Os termogramas seguintes (Figura 49) demonstram perfeitamente que nas zonas a laranja, a transição do fluxo de calor do interior para o exterior é muito mais significativo.



*Figura 49 - Transição de fluxo de calor em fachadas*

**Caso 5** - No termograma de referência (I-07 Po 36), e tal como apresentado na Figura 50, nota-se um prolongamento da transição térmica no paramento no sentido exterior para interior, o que nos leva a deduzir da existência de infiltrações de água e/ou condensações na união da massa superficial do isolamento com a ombreira onde se fixam os envidraçados. Situação idêntica é constatada no termograma de referência (I-16 N 26).

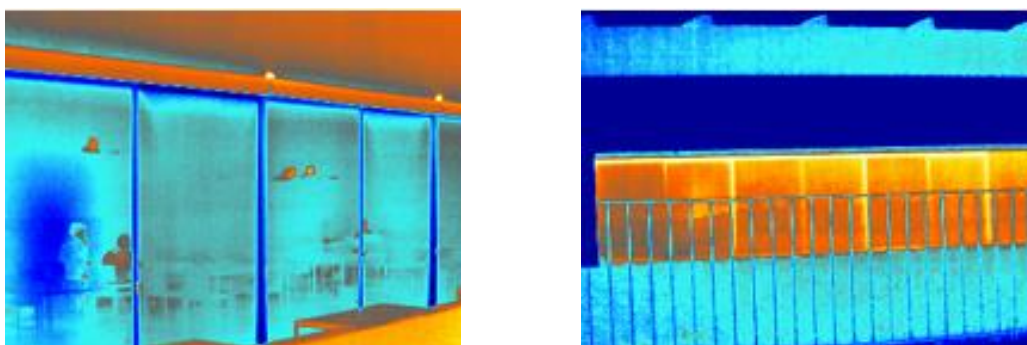


*Figura 50 - Infiltrações em fachadas com sistema ETICS*



### 7.6.3 Envidraçados

Caso 6 – Como é esperado, os vãos envidraçados têm influência significativa no desperdício energético dos edifícios, sendo através destes que ocorre uma parcela considerável das perdas térmicas. Os vários termogramas recolhidos no edifício revelam perfeitamente as perdas de energia devidas à passagem do fluxo de calor do interior para o exterior. Os termogramas da Figura 51 mostram as perdas de energia pelos envidraçados da sala de leitura da biblioteca, vistas do interior e do exterior do edifício.



*Figura 51 - Perdas de energia pelos vãos envidraçados*

De realçar que, embora os vidros duplos apresentem perdas térmicas consideráveis, mais evidentes são as perdas pela caixilharia de alumínio sem rutura de ponte térmica.

### 7.7 Relatórios

De acordo com a norma EN 13187:1999 e também com as boas práticas neste domínio, é usual a elaboração de um relatório onde é sintetizada toda a informação patente em 7.6, versando a análise termográfica e as patologias levantadas. Este relatório poderá também compreender uma síntese do conjunto de medidas de melhoria para a mitigação de tais patologias, como previstas em 7.8.

Embora tal relatório não tenha sido elaborado por se entender extravasar o âmbito deste trabalho, a título exemplificativo anexa-se um relatório tipo proveniente de uma empresa francesa, conforme se pode consultar no anexo A4.

### 7.8 Medidas de melhorias

Visto que este edifício está dotado de um sistema climatização para a estação de aquecimento, o objetivo será intervir no isolamento térmico para reduzir as



necessidades de aquecimento, contribuindo para o melhor desempenho energético do edifício. Assim, com esta intervenção será mais controlada a transmissão de calor por condução na envolvente exterior na estação de aquecimento, contribuindo ainda para a melhoria de desempenho na estação de arrefecimento.

### 7.8.1 Avaliação térmica e análise económica das coberturas

Como referido no parágrafo 7.8., as medidas de melhoria serão propostas para cada um dos casos reportados, sendo que no caso 2 a medida de melhoria passaria por colocar isolamento na zona da parede que eleva a cota da cúpula em relação à laje de cobertura. No caso 1, propõe-se a substituição do vidro simples por vidro duplo, devendo-se ter em atenção que adicionalmente seria vantajosa a existência de corte térmico na estrutura de suporte do envidraçado. Nos restantes casos, como adiante se verá, as medidas de melhoria propostas não garantem a rentabilidade desejada. Nas avaliações térmicas e análise económica das medidas de melhoria recorreu-se ao programa Optiterm (Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, s.d.) e ao ITE – 50 (LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006). Embora alguns dos pressupostos do Optiterm assentem no RCCTE (DL 80/2006, 2006), optou-se pela sua utilização na avaliação das medidas de melhoria propostas, dado se considerar tal não apresentar relevância significativa para este efeito.

#### Caso 1

Para este caso a solução seria de colocar vidro duplo de baixa emissividade, com ganhos térmicos no valor de 2856 [kWh], períodos de retorno do investimento de 3 anos e mesmo com uma subida de níveis de qualidade de N0 para N1, como mostram os resultados.

Quadro 9 - Avaliação térmica do vidro duplo da cúpula

Situação actual do vidro					Solução de vidro duplo de baixa emissividade	
Material	e	$\lambda$	R	$U_w$	Material	U = 2,7 W/m²°C (valores Deleme janelas)
	[m]	[W/m.°C]	[m².°C/W]	[W/m².°C]		
Vidro	0,008	1	0,008	6,757	Vidro duplo 4-16-4	
Rsi			0,100			
Rse			0,040			
Rt			0.148			

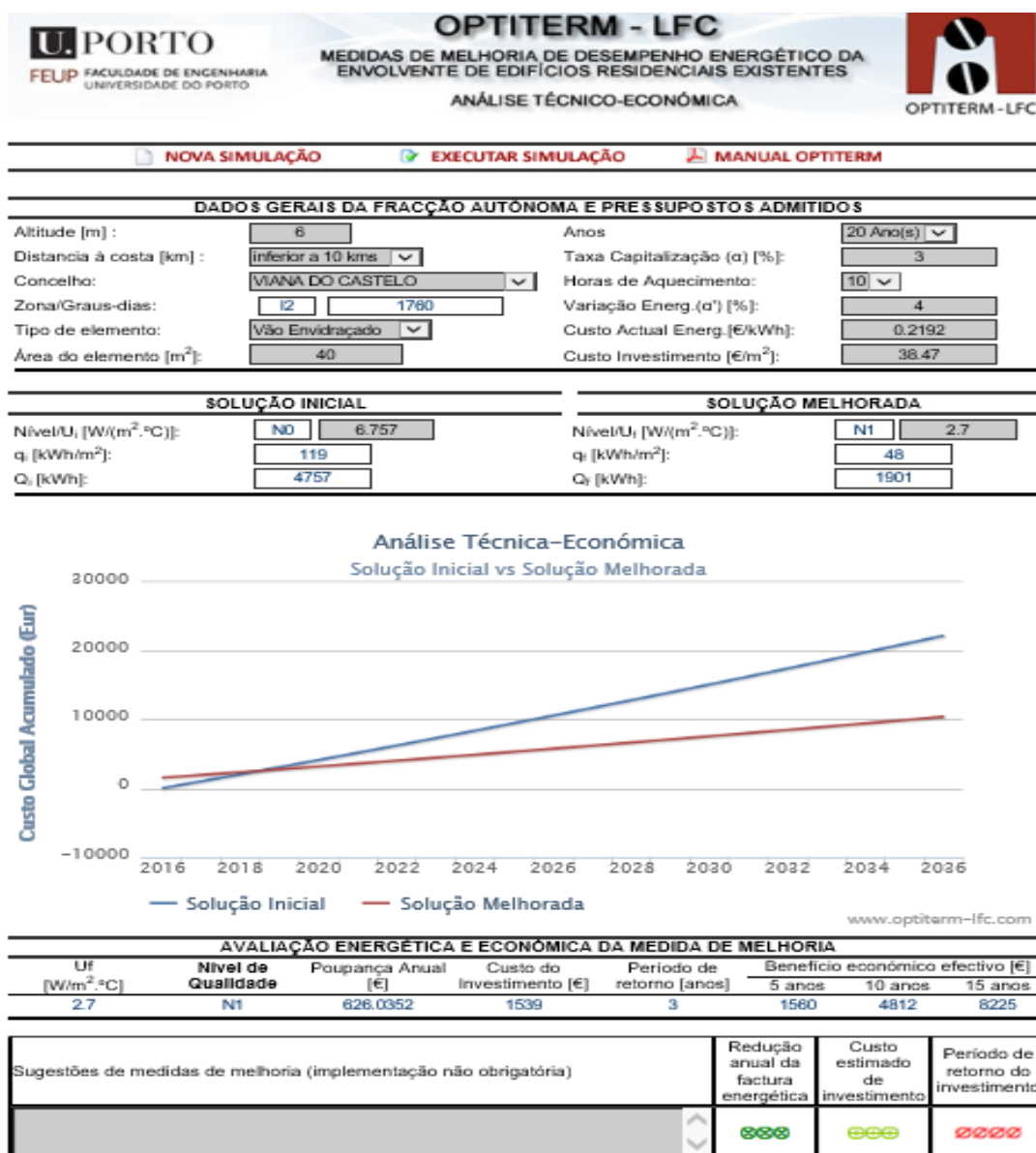


Figura 52 - Análise económica do vidro da cúpula

## Caso 2

Neste caso a optou-se pela solução de colocar o sistema ETICS com isolamento XPS de 8 cm, com ganhos no valor de (U) de 5,642 W/m<sup>2</sup>.°C, períodos de retorno do investimento de 5 anos, uma redução da necessidade de aquecimento de 69 Kwh/m<sup>2</sup> para 7 Kwh/m<sup>2</sup> e com uma subida de níveis de qualidade de N0 para N2, como mostram os resultados. Caso a aplicação de ETICS com XPS se venha a revelar algo complexa dada a geometria do lanternim, poderá ser adotada a aplicação de ETICS com MW ou ICB, ou alternativamente a montagem de uma estrutura envolvente exterior que contenha EPS ou ICB aplicado a granel.

Quadro 10 - Avaliação Térmica da parede de elevação da cúpula em relação à laje de cobertura

Parede de elevação da cúpula em relação à laje de cobertura					Solução com isolamento pelo exterior				
Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m².°C/W]	U [W/m².°C]	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m².°C/W]	U [W/m².°C]
Rev. Ext.	0,01	1,300	0,008	3,919	Isol. XPS	0,08	0,037	2,162	0,412
Betão	0,13	2,000	0,065		Rev. Ext.	0,01	1,3	0,003	
Rev. Int.	0,01	0,800	0,013						
Rsi			0,130						
Rse			0,040						
Rt			0,255					2,425	

**U.PORTO**  
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

**OPTITERM - LFC**  
MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES  
ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

NOVA SIMULAÇÃO EXECUTAR SIMULAÇÃO MANUAL OPTITERM

**DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS**

Altitude [m]: 6  
Distância à costa [km]: inferior a 10 kms  
Concelho: VIANA DO CASTELO  
Zona/Graus-dias: 12 1760  
Tipo de elemento: Parede Exterior  
Área do elemento [m²]: 51

Anos: 20 Ano(s)  
Taxa Capitalização ( $\alpha$ ) [%]: 3  
Horas de Aquecimento: 10  
Variação Energ. ( $\alpha'$ ) [%]: 4  
Custo Actual Energ. [€/kWh]: 0.2192  
Custo Investimento [€/m²]: 56.45

SOLUÇÃO INICIAL		SOLUÇÃO MELHORADA	
Nível/ $U_i$ [W/(m².°C)]:	N0 3.92	N2 0.412	
$q_i$ [kWh/m²]:	69	7	
$Q_i$ [kWh]:	3519	370	



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA							
Uf [W/m <sup>2</sup> .°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€]		
0.412	N2	690.2608	2579	5	538	4123	7666

Sugestões de medidas de melhoria (Implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	000	000	000

Figura 53 - Análise económica da parede de elevação da cúpula em relação à laje de cobertura

### Caso 3

A solução para o caso 3 consiste na reparação pontual da possível infiltração, evitando a passagem da água na laje ou paramento. Tal exigirá uma inspeção pormenorizada daquela zona de cobertura, no sentido de perceber qual a exata origem da patologia. O tratamento desta poderá evitar um diferencial local de 1,6 [W/m.°C] entre a condutibilidade térmica da água e do betão.

Dado o grau de incerteza acerca da origem da patologia, que não poderá ser devidamente caracterizada exclusivamente com recurso à termografia, e ainda em face da sua pouca relevância económica em termos de trocas térmicas, não se justifica neste caso a realização de qualquer análise técnico-económica.

## 7.8.2 Avaliação térmica e análise económica das paredes exteriores

### Caso 4

A solução residiu em colocar pelo interior da parede, em toda a altura do lambrim, isolamento XPS de 6 cm e placas de gesso cartonado ou apainelados de madeira, com ganhos no valor de (U) de 2,46 W/m<sup>2</sup>.°C. O período estimado de retorno do investimento é de 4 anos, com uma redução de necessidades de aquecimento de 43 KWh/m<sup>2</sup> e com uma subida de níveis de qualidade de N0 para N1, como mostram os resultados.

Quadro 11 - Avaliação Térmica das paredes exteriores

Situação atual parede					Solução com isolamento pelo interior				
Material	e	λ	R	U	Material	e	λ	R	U
	m	W/m.°C	m <sup>2</sup> .°C/W	W/m <sup>2</sup> .°C		[m]	W/m.°C	m <sup>2</sup> .°C/W	W/m <sup>2</sup> .°C
Rev. Ext.	0,01	0,55	0,018	2,957	Isol. XPS	0,06	0,037	1,622	0,497
Betão	0,25	2,000	0,125		Gesso cart.	0,013	0,250	0,052	
Rev. Int.	0,02	0,800	0,025						
Rsi			0,130						
Rse			0,040						
Rt			0,338					2,012	

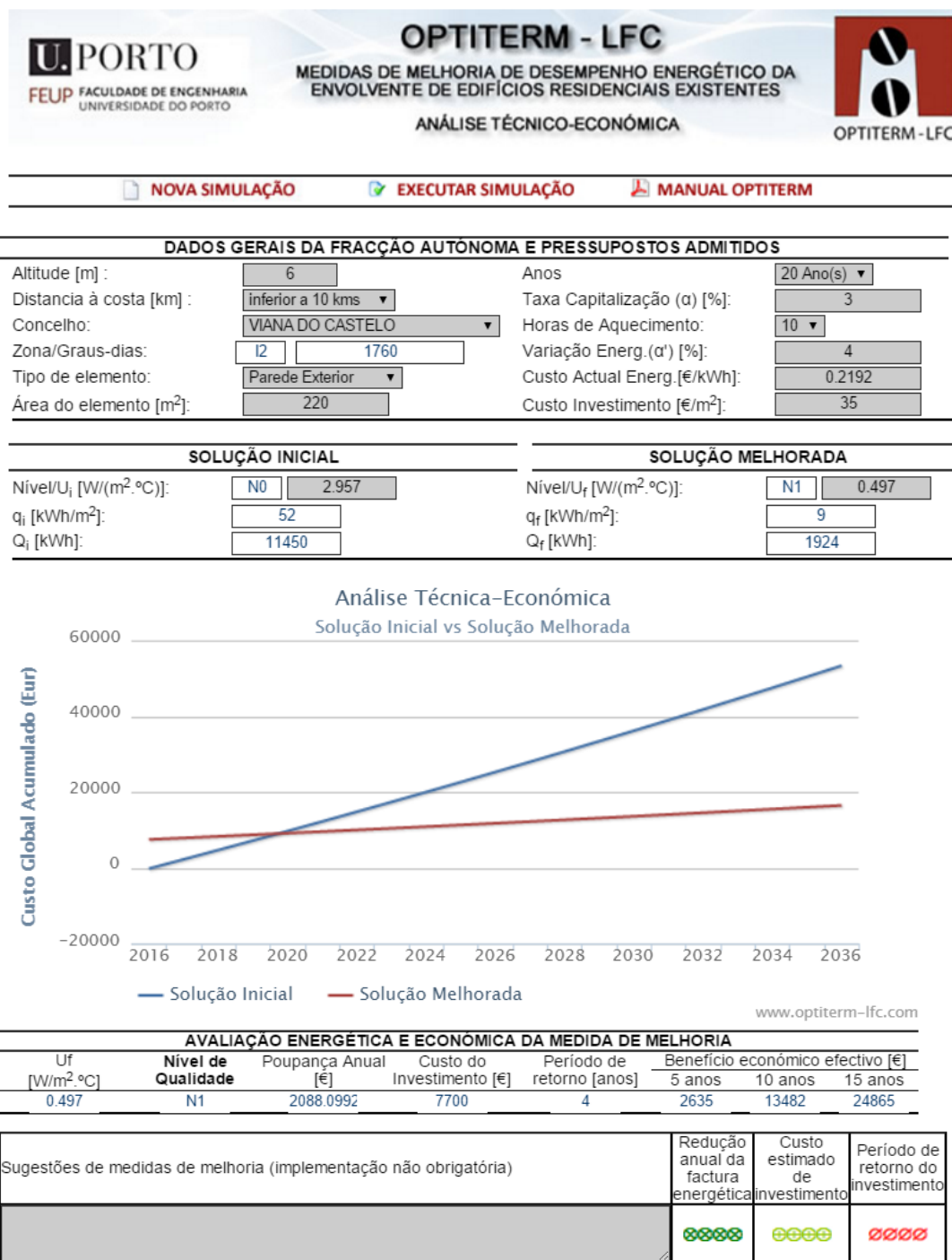


Figura 54 - Análise económica da reabilitação térmica das paredes exteriores

## Caso 5

A injeção de poliuretano com furação local poderá ser uma solução para resolver a questão das condensações, provavelmente devidas a baixos valores de resistência térmica da parede nesta zona. Por outro lado, este material irá acompanhar as

dilatações térmicas dos materiais existentes, evitando assim a ocorrência de patologias secundárias na zona do peitoril da janela. A vedação das juntas entre a caixilharia, o peitoril e a parede, evitando possíveis infiltrações de água e/ou ar, será também recomendável, podendo para efeito se recorrer à utilização de silicone ou outra solução alternativa.

Esta solução não apresenta um custo de intervenção significativo.

### **7.8.3 Avaliação térmica e análise económica dos vãos envidraçados**

#### **Caso 6**

A maioria dos vãos envidraçados atualmente são fabricados com vidro duplo convencional, incorporando ar atmosférico no preenchimento do espaço entre as duas superfícies. Ainda assim, os vidros duplos poderão ter melhorias significativas quando preenchido com Kripton, Xénon ou Árgon, embora tal conduza a custos substancialmente mais elevados. De todos estes, o Árgon tem-se mostrado como uma solução mais eficaz.

A Biblioteca Barbosa Romero apresenta 385m<sup>2</sup> de vãos envidraçados de vidro duplo, sem rutura térmica na caixilharia de alumínio. Segundo o ITE-50 (LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006), desprezando os dispositivos de oclusão noturna, o coeficiente de transmissão térmica ( $U_w$ ) para os vãos envidraçados da biblioteca seria de 3,1 W/m<sup>2</sup>.°C, sendo que, com uma melhoria na caixilharia de alumínio mediante a adoção de corte térmico, o coeficiente de transmissão térmica ( $U_w$ ) passaria para 2,4 W/m<sup>2</sup>.°C.

Feito a análise técnico-económica, verificam-se elevados custos de investimento sem qualquer retorno em período de tempo útil. Assim, conclui-se não ser rentável esta solução de melhoria de qualidade dos vãos envidraçados, que poderia no entanto apresentar alguma rentabilidade no início do primeiro investimento, aquando da construção do edifício.

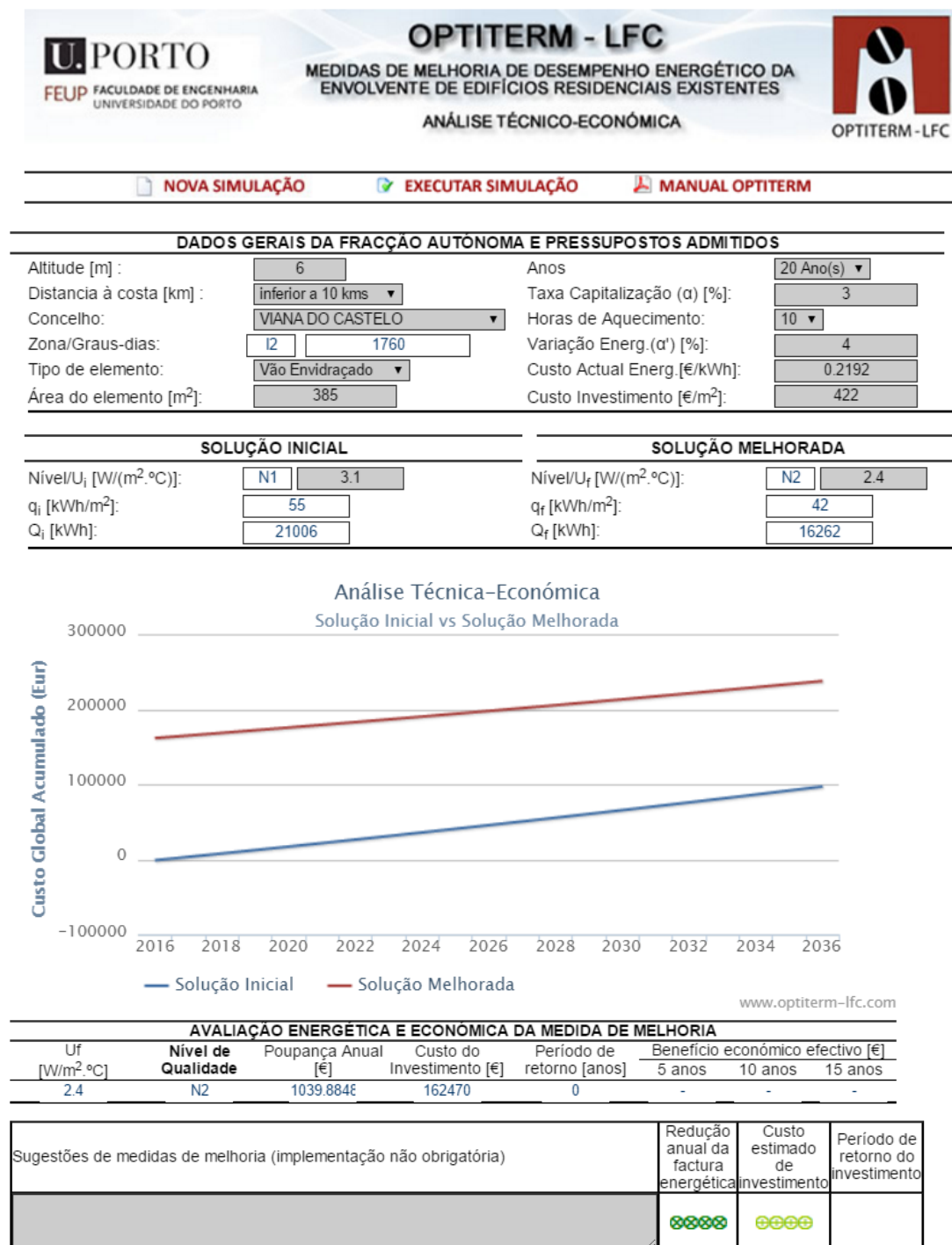


Figura 55 - Análise económica dos vãos envidraçados





## 8 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 8.1 Conclusões

A utilização de imagens de infravermelhos é uma técnica não destrutiva de diagnóstico da envolvente de edifícios, que permite identificar e localizar um conjunto de problemas tão diversos como faltas ou deficiências de isolamento, pontes térmicas, potenciais pontos de condensação superficial, infiltração de água e falhas de construção. Trata-se de uma técnica passível de um vasto potencial de utilização, com um campo de aplicação particularmente adaptado a edifícios existentes e à reabilitação de edifícios.

No essencial, a termografia permite a obtenção de termogramas com diferenças nos padrões de temperatura de uma imagem visível e daí retirar as ilações necessárias para a identificação de patologias em edifícios. Para além de possibilitar a análise de patologias existentes, esta técnica permite também que estas sejam detetadas na sua fase inicial, evitando assim custos agravados de manutenção. No entanto, nem sempre este método de diagnóstico é tão simples como aparenta, por carecer de uma correta interpretação dos termogramas pela parte do avaliador. Por outro lado, os parâmetros envolvidos, que dependem das condições climáticas e de outras variáveis relacionadas com o modo de obtenção dos termogramas, por vezes condicionam o diagnóstico realizado ao edifício. Como exemplos indicativos, o ângulo de incidência na tomada das imagens ou a existência de um diferencial térmico insuficiente entre o interior e o exterior, podem comprometer a obtenção de termogramas fiáveis que garantam a execução de uma análise com a qualidade desejável.

No caso prático, estudou-se um edifício que apresentava características semelhantes na sua envolvente exterior, mas com algumas diferenças nos espaços interiores, quer na altura do pé direito, volumetria, número de pisos adjacentes e acabamentos do teto, entre outras.

O recurso à análise termográfica possibilitou verificar nos elementos construídos, diferenças de padrões de temperatura já previsíveis para alguns objetos de análise, como por exemplo a transição térmica observável nos vãos envidraçados, bem como outros menos esperados, como é o caso da existência de transições térmicas significativas nos paramentos das envolventes exteriores do edifício. Esta última situação não seria perceptível à primeira vista, pelo facto destes paramentos serem revestidos por Sistemas Compostos de Isolamento Térmico Externo (ETICS).

Com a técnica de diagnóstico utilizada, conseguiu-se obter de imediato o mapeamento térmico das cúpulas arquitetónicas de iluminação natural na cobertura que, por via de outras técnicas, só seria obtido no local, com apoio de meios de elevação, o que tornaria mais complexa qualquer inspeção prévia a estas estruturas. Ainda que, em face da imagem termográfica, se tenham identificado as patologias da envolvente do edifício, não foi nalguns casos possível confirmar a sua origem, sendo posteriormente necessário o uso de técnicas complementares para a conclusão do correspondente diagnóstico.

A utilização do programa Flir Tools, da Flir Systems, facilita o tratamento das imagens termográficas com recurso a procedimentos simples. O Flir Tools permite a edição dos parâmetros de medição introduzidos na câmara durante a inspeção, como a temperatura ambiente, os valores de emissividade, a humidade relativa, ou a temperatura aparente. Ademais, as funções de análise do equipamento poderão ser utilizadas no ambiente do programa, possibilitando assim ajustar os parâmetros das imagens térmicas realizadas, como a paleta de cores de temperatura, ou adicionar ferramentas de medição, permitindo a título de exemplo a obtenção da temperatura num ponto definido posteriormente pelo utilizador.

Além destas potencialidades, o Flir Tools consegue gerar um relatório de inspeção sobre uma ou mais imagens captadas. Tal relatório não foi no entanto executado, por se entender não ser objeto do presente trabalho.

No final deste trabalho, foi elaborada uma análise técnico-económica das medidas de melhoria propostas com recurso ao programa Optiterm - LFC (LFC - FEUP, s.d.). Estas medidas contemplam, no essencial, melhorias ao nível do isolamento térmico de elementos da envolvente, com o objetivo principal de reduzir as suas necessidades de aquecimento, contribuindo assim para o melhor desempenho energético do edifício. É de notar que esta análise não teve em consideração a estação de arrefecimento. Se por um lado é entendido que a componente mais significativa do consumo com a climatização se reporta ao aquecimento (até porque o edifício em estudo não está equipado com equipamentos de arrefecimento), por outro a análise técnico-económica da estação de arrefecimento obrigaria à obtenção de dados que não são objeto do presente trabalho.

Neste contexto, os resultados da análise técnico-económica alcançados para as medidas de melhoria apresentadas demonstraram serem economicamente viáveis todas as soluções encontradas, à exceção da substituição dos vãos envidraçados da envolvente do edifício, por estes apresentarem resultados que conduzem a um tempo de retorno de investimento superior a 20 anos.

## 8.2 Desenvolvimentos futuros

É esperado que o estudo do comportamento higratérmico do edifício da biblioteca da ESTG do IPVC tenha contribuído para o estudo do comportamento térmico dos ETICS aplicados à envolvente de edifícios de utilização coletiva. Mas as vantagens desta técnica na inspeção de edifícios vão para além da sua aplicação direta à análise do comportamento deste tipo de sistemas de isolamento aderidos pelo exterior.

Com efeito, a aplicação da termografia de infravermelhos à inspeção de edifícios tem revelado um enorme potencial, sendo já particularmente comum no domínio das instalações elétricas e mecânicas. No entanto, a utilização desta ferramenta quer na manutenção preventiva, quer na manutenção corretiva da envolvente de edifícios ou de outros elementos de construção, não é de todo generalizada, ainda se encontrando em fase de expansão.

Deste modo, preconiza-se a utilização de forma sistemática da termografia de infravermelhos como técnica de suporte às inspeções associadas aos planos de manutenção dos edifícios do IPVC, possibilitando não só o mapeamento abrangente das suas patologias mais significativas, como também a implementação duma manutenção preventiva assente na deteção precoce de patologias ainda sem grande expressão. Complementarmente, o estudo da evolução das patologias tendo em conta inspeções sucessivas, possibilitaria uma interessante análise do comportamento do edifício em fase de utilização ao longo do tempo, nomeadamente no que toca à envolvente exterior. Tal poderia ser de utilidade no apoio à manutenção, mas também possibilitaria comparar o ETICS aplicado no edifício da biblioteca com várias soluções construtivas, mais ou menos convencionais.

Naturalmente que, pelo menos nalguns casos, será necessária a execução de um diagnóstico fino das patologias detetadas com recurso à termografia. Este diagnóstico mais detalhado recorrerá a inspeções localizadas, utilizando meios complementares, como sondas de temperatura e humidade, medição da velocidade localizada do ar no interior com anemómetros, ou mesmo possíveis ensaios destrutivos pontuais. Em jeito de conclusão, será de salientar que um equipamento de termografia como a câmara de infravermelhos Flir T420bx, disponível no laboratório de Física das Construções do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, apresenta de facto um inequívoco potencial de aplicação no domínio dos edifícios, que será desejável explorar de futuro nas suas diversas vertentes.



## Bibliografia

- 3dwarehouse. (s.d.). *IPVC - ESTG-Biblioteca Barbosa Romero*. Obtido em 29 de Dezembro de 2015, de <https://3dwarehouse.sketchup.com/model.html?id=de747415e9f41150c3339c6e38b21db2>
- Advanced Training Center. (s.d.). *Conceptos y aplicaciones*.
- Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (s.d.). *Precipitação diária*. (., Editor) Obtido em 06 de Janeiro de 2016, de SNIRH-Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: <http://snirh.apambiente.pt/>
- Antunes, L. C. (2012). *Radiação de corpo negro: lei de Stefan-Boltzmann, lei do deslocamento de Wien*. Ubi Thesis - Conhecimento Online, Departamento de Química. Obtido em 17 de Agosto de 2015, de <http://hdl.handle.net/10400.6/2872>
- asbl, I. w. (2008). *La thermographie infrarouge en maintenance prédictive*. (M. d.–S. l'Energie, Ed.) Obtido em 27 de Agosto de 2015, de Web site da Rise: [http://www.rise.be/files/library/Colloques/forum-2008-changements-climatiques/Brochure\\_thermo.pdf](http://www.rise.be/files/library/Colloques/forum-2008-changements-climatiques/Brochure_thermo.pdf)
- Astronoo. (s.d.). *Espectro eletromagnético*. Obtido em 07 de Novembro de 2015, de Web site de Astronoo: <http://www.astronoo.com/pt/artigos/espectro-eletromagnetico.html>
- Barreira, E. S. (Março de 2004). *Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de web site da U. Porto: <http://hdl.handle.net/10216/11563>
- Barreira, E. S. (2010). *Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrotérmico*. Obtido em 01 de Agosto de 2015, de Web site da Universidade do Porto: <http://hdl.handle.net/10216/59228>
- Bernuy, P. A. (09 de Setembro de 2008). *O efeito estufa e o clima na terra*. Obtido em 17 de Agosto de 2015, de Web site do Centro de Referência Virtual do Professor: [http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/documentos/md/em/fisica/2010-08/md-em-fs-08.pdf](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/documentos/md/em/fisica/2010-08/md-em-fs-08.pdf)
- DL 118/2013 . (20 de Agosto de 2013). Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e

- Serviços (RECS). Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site da ADENE - Agência para a Energia: [https://www.academiaadene.pt/download/pt/decreto-lei-1182013-anotado-v0\\_2013-11-13.pdf](https://www.academiaadene.pt/download/pt/decreto-lei-1182013-anotado-v0_2013-11-13.pdf)
- DL 80/2006, d. 4. (4 de Abril de 2006). RCCTE. *Reglamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*.
- elnuevodiario. (s.d.). *Superdotados*. Obtido em 17 de Agosto de 2015, de Web site de elnuevodiario: <http://www.elnuevodiario.com.ni/blogs/articulo/974-superdotados/>
- EN 13187:1999 . (s.d.). Thermal performance of buildings, qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method.
- Factorial321. (04 de Abril de 2012). *Youtube*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Fundamentos de termografia (FLIR): <https://www.youtube.com/watch?v=BZEbcjqBRe8>
- Flir. (s.d.). *FLIR Systems - INSTRUMENTS*. Obtido em 17 de Agosto de 2015, de Web site da Flir: <http://www.flir.eu/instruments/display/?id=62960>
- FLIR Systems. (01 de Julho de 2010). *Manual do utilizador*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site da FLIR Systems: [http://80.77.70.144/DocDownload/Assets/dl/1558809\\$a460.pdf](http://80.77.70.144/DocDownload/Assets/dl/1558809$a460.pdf)
- FLIR Systems. (s.d.). *Centro de Suporte ao Cliente FLIR*. Obtido em 27 de Setembro de 2015, de web site de FLIR Systems: [http://flir-br.custhelp.com/app/account/fl\\_download\\_manuals](http://flir-br.custhelp.com/app/account/fl_download_manuals)
- Frota, A. B., & Schiffer, S. R. (2001). *Manual de Conforto Térmico* (5. ed. ed.). S. Paulo, Brasil: Studio Nobel. Obtido em 13 de Janeiro de 2016, de [http://www.thya-thermographie.fr/thermographie\\_batiment/rapport-thermographie-batiment.pdf](http://www.thya-thermographie.fr/thermographie_batiment/rapport-thermographie-batiment.pdf)
- Fundacion de de la Energía e La Comunidad de Madrid. (s.d.). *Guia de la Termografía Infrarroja de FENERCOM*. Obtido em 07 de Novembro de 2015, de Web site de TermaGraf: <http://www.termagraf.com/guia-de-la-termografia-infrarroja-de-fenercom/>
- Holden, E. S. ( 2007). *Sir William Herschel: His Life and Worksl*. Universidade de Harvard: C. Scribner's Sons, 1880. Obtido em 09 de Maio de 2015, de Web site da Wikipédia: [https://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Herschel](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Herschel)
- Infratemp. (s.d.). *Termometria Infravermelha*. Obtido em 24 de 08 de 2015, de Web site de Infratemp: <http://www.infratemp.com.br/assets/uploads/como-funciona/infratemp-como-funciona-20140113134539-1412011090301.pdf>

- Instituto de Física da UFRGS. (s.d.). *Radiação térmica - Teoria de Planck*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site do Instituto de Física da UFRGS:  
[http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq\\_XX\\_A/radTerm/aRadTermFrame.htm](http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/radTerm/aRadTermFrame.htm)
- Januário, R., & Sousa, L. (s.d.). *Caracterização térmica de envolventes*. Obtido em 17 de Agosto de 2015, de  
<http://www.itecons.uc.pt/projectos/reabilitacao/index.php?module=sec&id=360>
- Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (s.d.). *Programa Optiterm*. Obtido em 16 de Janeiro de 2016, de  
<http://www.optiterm-lfc.com/>
- LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (2006). *ITE 50 - Ceficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LISBOA: Divisão de Edições e Artes Gráficas.
- Marques, D. F. (Dezembro de 2014). *Avaliação da qualidade térmica da envolvente de edifícios – Estudo de caso através da análise numérica e por termografia infravermelha*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site do Repositório da Universidade Nova: <http://hdl.handle.net/10362/14284>
- Mendonça, P. (2005). *Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Obtido em 23 de Agosto de 2015, de Web site da Universidade do Minho:  
<http://hdl.handle.net/1822/4250>
- Oliveira, T. M. (Janeiro de 2012). *Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a termografia*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site da U.Porto:  
<http://paginas.fe.up.pt/~ee01125/files/dissertacao%20versao%20provisoria%20tiago%20oliveira.pdf>
- Perez, B. (s.d.). *Termografia*. (I. I. Ltda., Ed.) Obtido de Web site da Instronic Instrumentos de Teste Ltda.
- R3 Técnica. (s.d.). *Termografia*. Obtido de Web site de R3 Técnica:  
<http://www.r3brasil.com.br/2013/01/termografia-termografia-e-uma.html>
- Ron Lucier, I. T. (s.d.). *Infrared Applications in Building Diagnostics*. Obtido em 03 de Novembro de 2015, de Pag web de IRINFO.ORG: <http://www.irinfo.org/09-01-2006-lucier/>
- Roriz, L. F. (s.d.). *Radiação*. Obtido em 28 de Outubro de 2016, de Instituto Superior Técnico: <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/radiacao.htm>
- Saso, E. R., & Torres, R. V. (s.d.). *Termografía IR & Test de Infiltraciones (BlowerDoor)*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site da RENAISSANCE:

- [http://renaissance.unizar.es/attachments/088\\_T%C3%A9cnicas%20de%20termograf%C3%ADa%20e%20infiltraciones%20en%20edificios.pdf](http://renaissance.unizar.es/attachments/088_T%C3%A9cnicas%20de%20termograf%C3%ADa%20e%20infiltraciones%20en%20edificios.pdf)
- Silva, D. D. (Setembro de 2012). *Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia*. Obtido em 16 de Agosto de 2015, de Web site da U. Porto: <http://hdl.handle.net/10216/68335>
- Sousa, L. F. (2010). *Aplicação de termografia no estudo do isolamento térmico de edifícios*. (U. d. Aveiro, Ed.) Obtido em 16 de Agosto de 2014, de Web site da U. Aveiro: <http://hdl.handle.net/10773/3650>
- Spybuilding. (s.d.). *A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspecção e manutenção dos edifícios*. Obtido em 07 de Novembro de 2015, de Web site Spybuilding: <http://www.spybuilding.com/private/admin/ficheiros/uploads/6b0dca6c9e15cc51dc73bde0562a31d5.pdf>
- Tempo, O. (06 de Janeiro de 2016). *O tempo em Viana do Castelo*. Obtido de O tempo: <http://www.otempo.pt/viana-do-castelo.html>
- Testo. (s.d.). *Academia online Testo*. Obtido em 17 de Agosto de 2015, de Espectro electromagnético: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/espectro-electromagnetico>
- thya-thermographie. (s.d.). Obtido em 13 de Janeiro de 2016, de [http://www.thya-thermographie.fr/thermographie\\_batiment/rapport-thermographie-batiment.pdf](http://www.thya-thermographie.fr/thermographie_batiment/rapport-thermographie-batiment.pdf)



## ANEXO A1: TABELA DE EMISSIVIDADES (FLIR Systems)

**LEGENDA:** T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .

1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência

1	2	3	4	5	6
3M tipo35	Fita elétrica em vinil (varias cores)	<80	LW	Perto de 0,96	13
3M tipo 88	Fita elétrica em vinil preto	<105	LW	Perto de 0,96	13
3M tipo 88	Fita elétrica em vinil preto	<105	MW	<0,96	13
3M tipo Super 33+	Fita elétrica em vinil preto	<80	LW	Perto de 0,96	13
Alcatrão			T	0,79-0,84	1
Alcatrão	papel	20	T	0,91-0,93	1
Alumínio	folha	27	10 $\mu\text{m}$	0,04	3
Alumínio	folha	27	3 $\mu\text{m}$	0,09	3
Alumínio	depositado no vácuo	20	T	0,04	2
Alumínio	polido	50-100	T	0,04-0,06	1
Alumínio	polido, placa	100	T	0,05	4
Alumínio	polido, folha	100	T	0,05	2
Alumínio	mergulhado em $\text{HN03}$ , placa	100	T	0,05	4
Alumínio	como recebido, placa	100	T	0,09	4
Alumínio	como recebido, folha	100	T	0,09	2
Alumínio	folha, 4 amostras com estrias diferentes	70	SW	0,05-0,08	9
Alumínio	folha, 4 amostras com estrias diferentes	70	LW	0,03-0,06	9
Alumínio	superfície rugosa	20-50	T	0,06-0,07	1
Alumínio	endurecido	27	10 $\mu\text{m}$	0,18	3
Alumínio	endurecido	27	3 $\mu\text{m}$	0,28	3
Alumínio	oxidado, fortemente	50-500	T	0,2-0,3	1
Alumínio	alterado, marcadamente	17	SW	0,83-0,94	5
Alumínio	moldado, limpo a jato	70	SW	0,47	9
Alumínio	moldado, limpo a jato	70	LW	0,46	9
Alumínio	anodizado, cinzento claro, opaco	70	SW	0,61	9

**LEGENDA:** T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem °C; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Alumínio	anodizado, cinzento claro, opaco	70	LW	0,97	9
Alumínio	anodizado, preto, opaco	70	SW	0,67	9
Alumínio	anodizado, preto, opaco	70	LW	0,95	9
Alumínio	anodizado, folha	100	T	0,55	2
Amianto	em pó		T	0,40-0,60	1
Amianto	Tecido		T	0,78	1
Amianto	ladrilho de pavimento	35	SW	0,94	7
Amianto	prancha	20	T	0,96	1
Amianto	ardósia	20	T	0,96	1
Amianto	Papel	40-400	T	0,93-0,95	1
Areia			T	0,60	1
Areia		20	T	0,90	2
Argamassa		17	SW	0,87	5
Argamassa	Seco	36	SW	0,94	7
Aço inoxidável	tipo 18-8, raspado	20	T	0,16	2
Aço inoxidável	tipo 18-8, oxidado a 800°C	60	T	0,85	2
Aço inoxidável	folha, polido	70	SW	0,18	9
Aço inoxidável	folha, polido	70	LW	0,14	9
Aço inoxidável	folha, não tratado, um pouco estriado	70	SW	0,30	9
Aço inoxidável	folha, não tratado, um pouco estriado	70	LW	0,28	9
Aço inoxidável	liga, 8% Ni, 18% Cr	500	T	0,35	1
Aço inoxidável	laminado	700	T	0,45	1
Aço inoxidável	tratado a jato de areia	700	T	0,70	1
Barro	refratário	70	T	0,91	1
Betão		20	T	0,92	2
Betão	Seco	36	SW	0,95	7

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Betão	rugoso	17	SW	0,97	5
Betão	passadeira	5	LLW	0,974	8
Borracha	Dura	20	T	0,95	1
Borracha	mole, cinzenta, rugosa	20	T	0,95	1
Bronze	Polido	50	T	0,1	1
Bronze	poroso, rugoso	50-150	T	0,55	1
Bronze	em pó		T	0,76-0,80	1
Bronze	bronze de fósforo	70	SW	0,08	9
Bronze	bronze de fósforo	70	LW	0,06	9
Bronze - alumínio		20	T	0,60	1
Carbono	fuligem de vela	20	T	0,95	2
Carbono	fuligem	20-400	T	0,95-0,97	1
Carbono	pó de carvão		T	0,96	1
Carbono	pó de grafite		T	0,97	1
Carbono	grafite, superfície limada	20	T	0,98	2
Chumbo	não oxidado, polido	100	T	0,05	4
Chumbo	brilhante	250	T	0,08	1
Chumbo	oxidado, cinzento	20	T	0,28	1
Chumbo	oxidado, cinzento	22	T	0,28	4
Chumbo	Oxidado a 200 $^{\circ}\text{C}$	200	T	0,63	1
Chumbo vermelho		100	T	0,93	4
Chumbo vermelho, em pó		100	T	0,93	1
Cobre	eletrolítico, polido	-34	T	0,006	4
Cobre	eletrolítico, cuidadosamente polido	80	T	0,018	1
Cobre	puro, superfície cuidadosamente preparada	22	T	0,008	4

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Cobre	polido, mecânico	22	T	0,015	4
Cobre	polido	50-100	T	0,02	1
Cobre	polido	100	T	0,03	2
Cobre	polido, comercial	27	T	0,03	4
Cobre	comercial, polido brilhante	20	T	0,07	1
Cobre	raspado	27	T	0,07	4
Cobre	fundido	1100-1300	T	0, 13-0, 15	1
Cobre	oxidado	50	T	0,6-0,7	1
Cobre	oxidado, fortemente	20	T	0,78	2
Cobre	oxidado, preto	27	T	0,78	4
Cobre	oxidado ate escurecer		T	0,88	1
Couro	curtido		T	0,75-0,80	1
Crómio	polido	500-1000	T	0,28-0,38	1
Crómio	polido	50	T	0,10	1
Dióxido de cobre	em pó		T	0,84	1
Ebonite			T	0,89	1
Escória	caldeira	0-100	T	0,97-0,93	1
Escória	caldeira	200-500	T	0,89-0,78	1
Escória	caldeira	600-1200	T	0,76-0,70	1
Escória	caldeira	1400-1800	T	0,69-0,67	1
Esmalte		20	T	0,9	1
Esmalte	Laca	20	T	0,85-0,95	1
Esmeril	grosso	80	T	0,85	1
Estanho	polido brilhante	20-50	T	0,04-0,06	1
Estanho	metal branco de folha da flandres	100	T	0,07	2
Estuque	rugoso, lima	10-90	T	0,91	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Ferro e aço	eletrolítico	22	T	0,05	4
Ferro e aço	eletrolítico	100	T	0,05	4
Ferro e aço	eletrolítico, cuidadosamente polido	175-225	T	0,05-0,06	1
Ferro e aço	eletrolítico	260	T	0,07	4
Ferro e aço	polido	400-1000	T	0,14-0,38	1
Ferro e aço	brilhante, despolido	150	T	0,16	1
Ferro e aço	trabalhado de novo com esmeril	20	T	0,24	1
Ferro e aço	preparado, cuidadosamente polido	40-250	T	0,28	1
Ferro e aço	coberto com ferrugem vermelha	20	T	0,61-0,85	1
Ferro e aço	extremamente enferrujado, folha	20	T	0,69	2
Ferro e aço	com ferrugem vermelha, folha	22	T	0,69	4
Ferro e aço	enferrujado, extremamente	17	SW	0,96	5
Ferro e aço	oxidado	100	T	0,74	4
Ferro e aço	oxidado	100	T	0,74	1
Ferro e aço	oxidado	125-525	T	0,78-0,82	1
Ferro e aço	oxidado	1227	T	0,89	4
Ferro e aço	laminado a quente	20	T	0,77	1
Ferro e aço	laminado a quente	130	T	0,60	1
Ferro e aço	laminado a frio	70	SW	0,20	9
Ferro e aço	laminado a frio	70	LW	0,09	9
Ferro e aço	oxidado, fortemente	50	T	0,88	1
Ferro e aço	oxidado, fortemente	500	T	0,98	1
Ferro e aço	rugoso, superfície plana	50	T	0,95-0,98	1
Ferro e aço	polido, folha	750-1050	T	0,52-0,56	1
Ferro e aço	esmerilado, folha	950-1100	T	0,55-0,61	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Ferro e aço	enferrujado, vermelho	20	T	0,69	1
Ferro e aço	oxidado	200	T	0,79	2
Ferro e aço	oxidado	200-600	T	0,80	1
Ferro e aço	camada de óxido brilhante, folha	20	T	0,82	1
Ferro e aço	polido	100	T	0,07	2
Ferro e aço	laminado, de novo	20	T	0,24	1
Ferro e aço	laminado, folha	50	T	0,56	1
Ferro estanhado	Folha	24	T	0,064	4
Ferro galvanizado	Folha	92	T	0,07	4
Ferro galvanizado	folha, polido brilhante	30	T	0,23	1
Ferro galvanizado	folha, oxidado	20	T	0,28	1
Ferro galvanizado	fortemente oxidado	70	SW	0,64	9
Ferro galvanizado	fortemente oxidado	70	LW	0,85	9
Ferro, moldado	polido	38	T	0,21	4
Ferro, moldado	polido	40	T	0,21	2
Ferro, moldado	polido	200	T	0,21	1
Ferro, moldado	liquido	1300	T	0,28	1
Ferro, moldado	maquinado	800-1000	T	0,60-0,70	1
Ferro, moldado	oxidado	38	T	0,63	4
Ferro, moldado	oxidado	100	T	0,64	2
Ferro, moldado	oxidado a 600 $^{\circ}\text{C}$	200-600	T	0,64-0,78	1
Ferro, moldado	oxidado	260	T	0,66	4
Ferro, moldado	oxidado	538	T	0,76	4
Ferro, moldado	moldagem	50	T	0,81	1
Ferro, moldado	não trabalhado	900-1100	T	0,87-0,95	1
Ferro, moldado	lingotes	1000	T	0,95	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Gelo: Ver Agua					
Gesso		20	T	0,8-0,9	1
Granito	polido	20	LLW	0,849	8
Granito	rugoso	21	LLW	0,879	8
Granito	rugoso, 4 amostras diferentes	70	SW	0,95-0,97	9
Granito	rugoso, 4 amostras diferentes	70	LW	0,77-0,87	9
Grés	polido	19	LLW	0,909	8
Grés	rugoso	19	LLW	0,935	8
Hidróxido de alumínio	em pó		T	0,28	1
Krylon Ultra-flat black 1602	preto liso	Tempera ambiente até 175	LW	Perto de 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	preto liso	Tempera ambiente até 175	MW	Perto de 0,97	12
Laca	alumínio em superfície rugosa	20	T	0,4	1
Laca	baquelite	80	T	0,83	1
Laca	preta, mate	100	T	0,97	2
Laca	preta, opaco	40-100	T	0,96-0,98	1
Laca	preta, brilhante, pulverizada em ferro	20	T	0,87	1
Laca	resistente ao calor	100	T	0,92	1
Laca	3 cores pulverizadas em alumínio	70	SW	0,50-0,53	9
Laca	3 cores pulverizadas em alumínio	70	LW	0,92-0,94	9
Laca	branco	100	T	0,92	2
Laca	branco	40-100	T	0,8-0,95	1
Latão	polido, altamente	100	T	0,03	2
Latão	polido	200	T	0,03	1
Latão	folha, laminado	20	T	0,06	1
Latão	folha, trabalhado com esmeril	20	T	0,2	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem °C; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Latão	lixado com esmeril de 80 grit	20	T	0,20	2
Latão	opaco, oxidado	20-350	T	0,22	1
Latão	oxidado	70	SW	0,04-0,09	9
Latão	oxidado	70	LW	0,03-0,07	9
Latão	oxidado	100	T	0,61	2
Latão	oxidado a 600 °C	200-600	T	0,59-0,61	1
Lima			T	0,3-0,4	1
Madeira	esmerilada		T	0,5-0,7	1
Madeira	aplainada	20	T	0,8-0,9	1
Madeira	carvalho aplainado	20	T	0,90	2
Madeira	branca, húmida	20	T	0,7-0,8	1
Madeira	carvalho aplainado	70	SW	0,77	9
Madeira	carvalho aplainado	70	LW	0,88	9
Madeira	pinho, 4 amostras diferentes	70	SW	0,67-0,75	9
Madeira	pinho, 4 amostras diferentes	70	LW	0,81-0,89	9
Madeira	contraplacado, suave, seco	36	SW	0,82	7
Madeira	contraplacado, não tratado	20	SW	0,83	6
Madeira		19	LLW	0,962	8
Madeira		17	SW	0,98	5
Magnésio		22	T	0,07	4
Magnésio	polido	20	T	0,07	2
Magnésio		260	T	0,13	4
Magnésio		538	T	0,18	4
Molibdénio		600-1000	T	0,08-0,13	1
Molibdénio	filamento	700-2500	T	0, 1-0,3	1
Molibdénio		1500-2200	T	0,19-0,26	1



**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Neve: Ver Agua					
Nextel Velvet 811- 21 Black	preto liso	-60-150	LW	> 0,97	10 e 11
Níquel	eletrolítico	22	T	0,04	4
Níquel	eletrolítico	38	T	0,06	4
Níquel	eletrolítico	260	T	0,07	4
Níquel	eletrolítico	538	T	0,10	4
Níquel	mate claro	122	T	0,041	4
Níquel	polido	122	T	0,045	4
Níquel	puro comercialmente, polido	100	T	0,045	1
Níquel	Puro comercialmente, polido	200-400	T	0,07-0,09	1
Níquel	fio	200-1000	T	0, 1-0,2	1
Níquel	electro galvanizado em ferro, polido	22	T	0,045	4
Níquel	electro galvanizado, polido	20	T	0,05	2
Níquel	electro galvanizado em ferro, não polido	22	T	0, 11	4
Níquel	electro galvanizado em ferro, não polido	20	T	0, 11-0,40	1
Níquel	oxidado	200	T	0,37	2
Níquel	oxidado	227	T	0,37	4
Níquel	oxidado a 600 $^{\circ}\text{C}$	200-600	T	0,37-0,48	1
Níquel	oxidado	1227	T	0,85	4
Níquel - cromo	laminado	700	T	0,25	1
Níquel - cromo	tratada a jato de areia	700	T	0,70	1
Níquel - cromo	fio, limpo	500-1000	T	0,71-0,79	1
Níquel - cromo	fio, limpo	50	T	0,65	1
Níquel - cromo	fio, oxidado	50-500	T	0,95-0,98	1
Ouro	polido	130	T	0,018	1
Ouro	polido, cuidadosamente	200-600	T	0,02-0,03	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Ouro	polido, altamente	100	T	0,02	2
Papel	amarelo		T	0,72	1
Papel	vermelho		T	0,76	1
Papel	azul, escuro		T	0,84	1
Papel	verde		T	0,85	1
Papel	preto		T	0,90	1
Papel	revestido com laca preta		T	0,93	1
Papel	branco	20	T	0,7-0,9	1
Papel	ligado a branco	20	T	0,93	2
Papel	branco, 3 brilhos diferentes	70	SW	0,76-0,78	9
Papel	branco, 3 brilhos diferentes	70	LW	0,88-0,90	9
Papel	4 cores diferentes	70	SW	0,68-0,74	9
Papel	4 cores diferentes	70	LW	0,92-0,94	9
Papel	preto, opaco	70	SW	0,86	9
Papel	preto, opaco	70	LW	0,89	9
Papel	preto, opaco		T	0,94	1
Papel de parede	padrão ligeiro, cinzento claro	20	SW	0,85	6
Papel de parede	padrão ligeiro, vermelho	20	SW	0,90	6
Papelão	não tratado	20	SW	0,90	6
Pavimento em asfalto		4	LLW	0,967	8
Pele	humana	32	T	0,98	2
Placa de fibra	dura, não tratada	20	SW	0,85	6
Placa de fibra	porosa, não tratada	20	SW	0,85	6
Placa de fibra	painel de partículas	70	SW	0,77	9
Placa de fibra	painel de partículas	70	LW	0,89	9
Placa de fibra	masonita	70	SW	0,75	9

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Placa de fibra	masonita	70	LW	0,88	9
Platina		17	T	0,016	4
Platina		22	T	0,03	4
Platina		100	T	0,05	4
Platina		260	T	0,06	4
Platina		538	T	0,10	4
Platina		1094	T	0,18	4
Platina	pura, polida	200-600	T	0,05-0,10	1
Platina		1000-1500	T	0,14-0,18	1
Platina	fio	50-200	T	0,06-0,07	1
Platina	fio	500-1000	T	0,10-0,16	1
Platina	fio	1400	T	0,18	1
Platina	fita	900-1100	T	0,12-0,17	1
Plástico	pvc, pavimento em plástico, opaco, estruturado	70	SW	0,94	9
Plástico	pvc, pavimento em plástico, opaco, estruturado	70	LW	0,93	9
Plástico	placa de isolamento em poliuretano	70	SW	0,29	9
Plástico	placa de isolamento em poliuretano	70	LW	0,55	9
Plástico	laminado de fibra de vidro (placa com circuito impresso)	70	SW	0,94	9
Plástico	laminado de fibra de vidro (placa com circuito impresso)	70	LW	0,91	9
Porcelana	branca, brilhante		T	0,70-0,75	1
Porcelana	vitrificada	20	T	0,92	1
Prata	polido	100	T	0,03	2
Prata	pura, polida	200-600	T	0,02-0,03	1
Pó de magnésio			T	0,86	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Reboco		17	SW	0,86	5
Reboco	revestimento rugoso	20	T	0,91	2
Reboco	gesso em folha, nao tratado	20	SW	0,90	6
Solo	seco	20	T	0,92	2
Solo	saturado com água	20	T	0,95	2
Styrofoam	isolamento	37	SW	0,60	7
Tecido	preto	20	T	0,98	1
Telha	vitrificada	17	SW	0,94	5
Tijolo	sillimanite, 33% SiO <sub>2</sub> , 64% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1500	T	0,29	1
Tijolo	refratário, magnesite	1000-1300	T	0,38	1
Tijolo	refratário, corindo	1000	T	0,46	1
Tijolo	refratário, pouco radiante	500-1000	T	0,65-0,75	1
Tijolo	refratário, muito radiante	500-1000	T	0,8-0,9	1
Tijolo	argila refrataria	1200	T	0,59	1
Tijolo	argila refrataria	1000	T	0,75	1
Tijolo	argila refrataria	20	T	0,85	1
Tijolo	alumina	17	SW	0,68	5
Tijolo	tijolo refratário	17	SW	0,68	5
Tijolo	sílica, 95% SiO <sub>2</sub>	1230	T	0,66	1
Tijolo	Sílica de Dinas, refrataria	1000	T	0,66	1
Tijolo	Sílica de Dinas, não vidrada, rugosa	1000	T	0,80	1
Tijolo	Sílica de Dinas, vidrada, rugosa	1100	T	0,85	1
Tijolo	comum	17	SW	0,86-0,81	5
Tijolo	impermeável	17	SW	0,87	5
Tijolo	vermelho, rugoso	20	T	0,88-0,93	1
Tijolo	vermelho, comum	20	T	0,93	2

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Tijolo	alvenaria	35	SW	0,94	7
Tijolo	alvenaria, rebocada	20	T	0,94	1
Tinta	alumínio, vários anos	50-100	T	0,27-0,67	1
Tinta	amarelo cádmio		T	0,28-0,33	1
Tinta	verde crómio		T	0,65-0,70	1
Tinta	azul-cobalto		T	0,7-0,8	1
Tinta	óleo	17	SW	0,87	5
Tinta	a base de óleo, media de 16 cores	100	T	0,94	2
Tinta	óleo, varias cores	100	T	0,92-0,96	1
Tinta	óleo, preto baco	20	SW	0,94	6
Tinta	óleo, preto brilhante	20	SW	0,92	6
Tinta	óleo, cinzento baço	20	SW	0,97	6
Tinta	óleo, cinzento brilhante	20	SW	0,96	6
Tinta	plástica, preta	20	SW	0,95	6
Tinta	plástica, branca	20	SW	0,84	6
Tinta	8 cores e qualidades diferentes	70	SW	0,88-0,96	9
Tinta	8 cores e qualidades diferentes	70	LW	0,92-0,94	9
Titânio	polido	200	T	0,15	1
Titânio	polido	500	T	0,20	1
Titânio	polido	1000	T	0,36	1
Titânio	oxidada a 540 $^{\circ}\text{C}$	200	T	0,40	1
Titânio	oxidada a 540 $^{\circ}\text{C}$	500	T	0,50	1
Titânio	oxidada a 540 $^{\circ}\text{C}$	1000	T	0,60	1
Tungsténio		200	T	0,05	1
Tungsténio		600-1000	T	0,1-0,16	1
Tungsténio		1500-2200	T	0,24-0,31	1

**LEGENDA: T-Espectro total; SW - 2 a 5  $\mu\text{m}$ ; LW:8 a 14  $\mu\text{m}$ ; LLW:6.5 a 20  $\mu\text{m}$ .**

**1- Material; 2- Especificação; 3 - Temperaturaem  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 - Espectro; 5 - Emissividade; 6 - Referência**

1	2	3	4	5	6
Tungsténio	filamento	3300	T	0,39	1
Verniz	liso	20	SW	0,93	6
Verniz	em pavimento com parqué de carvalho	70	SW	0,90	9
Verniz	em pavimento com parqué de carvalho	70	LW	0,90-0,93	9
Zinco	polido	200-300	T	0,04-0,05	1
Zinco	oxidado a $400^{\circ}\text{C}$	400	T	0, 11	1
Zinco	folha	50	T	0,20	1
Zinco	superfície oxidada	1000-1200	T	0,50-0,60	1
Água	neve		T	0,8	1
Água	neve	-10	T	0,85	2
Água	camada > 0, 1 mm de espessura	0-100	T	0,95-0,98	1
Água	destilada	20	T	0,96	2
Água	gelo, suave	-10	T	0,96	2
Água	gelo, suave	0	T	0,97	1
Água	gelo, coberto com forte geada	0	T	0,98	1
Água	cristais de geada	-10	T	0,98	2
Óleo, lubrificante	película em base de Ni: apenas base de Ni	20	T	0,05	2
Óleo, lubrificante	película de 0,025 mm	20	T	0,27	2
Óleo, lubrificante	película de 0,050 mm	20	T	0,46	2
Óleo, lubrificante	película de 0, 125 mm	20	T	0,72	2
Óleo, lubrificante	revestimento espesso	20	T	0,82	2
Óleo, lubrificante	ativo, em pó		T	0,46	1
Óleo, lubrificante	puro, em pó (alumina)		T	0,16	1
Óxido de cobre	vermelho, em pó		T	0,70	1
Óxido de níquel		500-650	T	0,52-0,59	1
Óxido de níquel		1000-1250	T	0,75-0,86	1

## ANEXO A2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO FLIR

### T420BX (FLIR Systems)



## FLIR T420bx (incl. Wi-Fi)

**P/N: 62103-1501**

**Copyright**

© 2015, FLIR Systems, Inc.

All rights reserved worldwide. Names and marks appearing herein are either registered trademarks or trademarks of FLIR Systems and/or its subsidiaries. All other trademarks, trade names or company names referenced herein are used for identification only and are the property of their respective owners.

**Document identity**

Publ. No.: 62103-1501

Release:

Commit: 26732

Language: en-US

Modified: 2015-06-12

Formatted: 2015-06-13

**Corporate Headquarters**

FLIR Systems, Inc.  
27700 SW Parkway Ave.  
Wilsonville, OR 97070  
USA

Telephone: +1-503-498-3547

**Website**

<http://www.flir.com>

**Customer support**

<http://support.flir.com>

**Disclaimer**

Specifications subject to change without further notice. Camera models and accessories subject to regional market considerations. License procedures may apply. Products described herein may be subject to US Export Regulations. Please refer to [exportquestions@flir.com](mailto:exportquestions@flir.com) with any questions.



**General description**

The FLIR T420bx is a camera that offers good performance at an affordable price. Excellent ergonomics, a walk-up-and-use interface, and easy communication make the FLIR T420bx a truly user-friendly camera for the beginner or advanced user.

**Benefits:**

- **Excellent ergonomics:** The FLIR T420bx has a tiltable infrared unit and auto-orientation, which make it easy to capture images from any angle comfortably. The small size and low weight of the camera facilitate its use over a full working day.
- **Affordable performance:** The FLIR T420bx is equipped with the innovative Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX) feature, which produces an image richer in detail than ever before. You can highlight objects of interest, on both the infrared and the visual image, by sketching or adding predefined stamps directly onto the camera's touch screen.
- **Extensive communication options:** The Wi-Fi connectivity of the FLIR T420bx allows you to connect to smart phones or tablets, for the wireless transfer of images or the remote control of the camera. The Bluetooth-based METERLINK function transfers readings from external measurement instruments to the infrared image.
- **Support for UltraMax:** When enabling UltraMax in the camera, the resolution of images can be substantially enhanced when importing the images into FLIR Tools.

**Imaging and optical data**

IR resolution	320 x 240 pixels
MSX resolution	320 x 240 pixels
UltraMax	Yes
Thermal sensitivity/NETD	<30 mK @ +30°C (+86°F)
Field of view (FOV)	25° x 19°
Minimum focus distance	0.4 m (1.31 ft.)
Focal length	18 mm (0.7 in.)
Spatial resolution (IFOV)	1.36 mrad
F-number	1.3
Image frequency	60 Hz
Focus	Automatic (one shot) or manual
Digital zoom	2x and 4x

**Detector data**

Detector type	Focal plane array (FPA), uncooled microbolometer
Spectral range	7.5–13 µm



## FLIR T420bx (incl. Wi-Fi)

P/N: 62103-1501

© 2015, FLIR Systems, Inc.

#62103-1501; r./26732; en-US

Image presentation	
Display	Touch screen, 3.5 in. LCD, 320 x 240 pixels
Auto orientation	Automatic landscape or portrait
Image adjustment	Auto or manual
Image presentation modes	
Thermal MSX	Thermal image with enhanced detail presentation
Picture in Picture	Resizable and movable IR area on visual image
Measurement	
Object temperature range	<ul style="list-style-type: none"> <li>-20°C to +120°C (-4°F to +248°F)</li> <li>0°C to +350°C (+32°F to +662°F)</li> </ul>
Accuracy	±2°C (±3.6°F) or 2%, whichever is greater, at 25°C (77°F) nominal.
Measurement analysis	
Spotmeter	5
Area	5 areas (boxes or circles) with max./min./average
Automatic hot/cold detection	Auto hot or cold spotmeter markers within area
Measurement presets	No measurements, Center spot, Hot spot, Cold spot, 3 spots, Hotspot-spot, Hotspot-temperature
Difference temperature	Delta temperature between measurement functions or reference temperature
Reference temperature	Manually set using difference temperature
Emissivity correction	Variable from 0.01 to 1.0 or selected from materials list
Measurement corrections	Emissivity, reflected temperature, relative humidity, atmospheric temperature, object distance, external IR window compensation
Colors (palettes)	Iron, Rainbow, Rainbow HC, White hot, Black hot, Arctic, Lava
Alarm	
Color Alarm (isotherm)	Above/below/interval
Measurement function alarm	Audible/visual alarms (above/below) on any selected measurement function
Screening	Difference temperature alarm, audible
Humidity alarm	1 humidity alarm, including dew point alarm
Insulation alarm	1 insulation alarm
Set-up	
Set-up commands	Save options, Programmable button, Reset options, Set up camera, Wi-Fi, Compass, Bluetooth, Language, Time & units, Camera information
Service functions	
Camera software update	Use PC software FLIR Tools





## FLIR T420bx (incl. Wi-Fi)

P/N: 62103-1501

© 2015, FLIR Systems, Inc.

#62103-1501; r. /26732; en-US

Storage of Images	
Image storage	Standard JPEG, including digital photo and measurement data, on memory card
Image storage mode	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simultaneous storage of thermal and digital photo in same JPEG file.</li> <li>• Optional to store digital photo as a separate JPEG file.</li> </ul>
Time lapse	15 seconds to 24 hours
Image annotations (in still images)	
Voice	60 seconds (via Bluetooth) stored with the image
Text	Add table. Select between predefined templates or create your own in FLIR Tools
Image description	Add short note (stored in JPEG EXIF tag)
METERLINK	Wireless connection (Bluetooth) to: FLIR meters with METERLINK
Report generation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instant Report (*.pdf file) in camera including IR and visual images</li> <li>• Separate PC software with extensive report generation</li> </ul>
Geographic Information System	
Compass	Camera direction automatically added to every still image
Video recording in camera	
Non-radiometric IR video recording	MPEG-4 to memory card
Visual video recording	MPEG-4 to memory card
Video streaming	
Radiometric IR video streaming	Full dynamic to PC using USB or to mobile devices using Wi-Fi.
Non-radiometric IR video streaming	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPEG-4 using Wi-Fi</li> <li>• Uncompressed colorized video using USB</li> </ul>
Visual video streaming	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPEG-4 using Wi-Fi</li> <li>• Uncompressed colorized video using USB</li> </ul>
Digital camera	
Built-in digital camera	3.1 Mpxls with LED light (photo as separate image)
Digital camera, focus	Fixed focus
Digital camera, FOV	Adapts to the IR lens
Built-in digital lens data	FOV 53° x 41°
Digital camera, aspect ratio	4:3
Laser pointer	
Laser	Activated by dedicated button
Laser alignment	Position is automatic displayed on the IR image
Laser classification	Class 2
Laser type	Semiconductor AlGaInP diode laser
Laser power	1 mW
Laser wavelength	635 nm (red)



## FLIR T420bx (incl. Wi-Fi)

P/N: 62103-1501

© 2015, FLIR Systems, Inc.

#62103-1501; r. /26732; en-US

Data communication interfaces	
Interfaces	USB-mini, USB-A, Bluetooth, Wi-Fi, composite video
METERLINK/Bluetooth	Communication with headset and external sensors
Wi-Fi	Peer to peer (ad hoc) or infrastructure (network)
SD Card	One card slot for removable SD memory cards

USB	
USB	<ul style="list-style-type: none"> <li>USB-A: Connect external USB device</li> <li>USB Mini-B: Data transfer to and from PC / uncompressed colorized video</li> </ul>
USB, standard	USB Mini-B: 2.0

Composite video	
Video out	Composite
Video, standard	CVBS (ITU-R-BT.470 PAL/SMPTE 170M NTSC)
Video, connector type	4-pole 3.5 mm jack

Radio	
Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standard: 802.11 b/g</li> <li>Frequency range: 2412–2462 MHz</li> <li>Max. output power: 15 dBm</li> </ul>
METERLINK/Bluetooth	Frequency range: 2402–2480 MHz
Antenna	Internal

Power system	
Battery type	Rechargeable Li ion battery
Battery voltage	3.7 V
Battery capacity	4.4 Ah, at +20°C to +25°C (+68°F to +77°F)
Battery operating time	Approx. 4 hours at +25°C (+77°F) ambient temperature and typical use
Charging system	In camera (AC adapter or 12 V from a vehicle) or 2-bay charger
Charging time	4 h to 90% capacity, charging status indicated by LED's
Charging temperature	0°C to +45°C (+32°F to +113°F)
Power management	Automatic shutdown and sleep mode (user selectable)
AC operation	AC adapter, 90–260 VAC input, 12 V output to camera
Start-up time from sleep mode	Instant on

Environmental data	
Operating temperature range	–15°C to +50°C (+5°F to +122°F)
Storage temperature range	–40°C to +70°C (–40°F to +158°F)
Humidity (operating and storage)	IEC 60068-2-30/24 h 95% relative humidity +25°C to +40°C (+77°F to +104°F) / 2 cycles
EMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETSI EN 301 489-1 (radio)</li> <li>ETSI EN 301 489-17</li> <li>EN 61000-6-2 (immunity)</li> <li>EN 61000-6-3 (Emission)</li> <li>FCC 47 CFR Part 15 B (Emission)</li> <li>ICES-003</li> </ul>



## FLIR T420bx (incl. Wi-Fi)

P/N: 62103-1501

© 2015, FLIR Systems, Inc.

#62103-1501; r./26732; en-US

Environmental data	
Radio spectrum	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETSI EN 300 328</li> <li>FCC Part 15.247</li> <li>RSS-210</li> </ul>
Magnetic fields	EN 61 000-4-8, Test level 5 for continuous field (severe industrial environment)
Encapsulation	IP 54 (IEC 60529)
Shock	25 g (IEC 60068-2-27)
Vibration	2 g (IEC 60068-2-6)
Safety	EN/UL/CSA/PSE 60950-1

Physical data	
Camera weight, incl. battery	0.855 kg (1.88 lb.)
Camera size (L x W x H)	106 x 201 x 125 mm (4.2 x 7.9 x 4.9 in.), with built-in lens pointing forward
Tripod mounting	UNC 1/4"-20 (adapter needed)
Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>Polycarbonate + acrylonitrile butadiene styrene (PC-ABS)</li> <li>Thixomold magnesium</li> <li>Thermoplastic elastomer (TPE)</li> </ul>
Color	Graphite gray and black

Shipping information	
Packaging, type	Cardboard box
List of contents	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrared camera with lens</li> <li>Battery (2 ea.)</li> <li>Battery charger</li> <li>Bluetooth headset</li> <li>Camera lens cap</li> <li>Calibration certificate</li> <li>FLIR Tools download card</li> <li>User documentation CD-ROM</li> <li>Printed documentation</li> <li>Hard transport case</li> <li>Memory card</li> <li>Neckstrap</li> <li>Power supply, incl. multi-plugs</li> <li>Sunshield</li> <li>USB cable</li> <li>Video cable</li> </ul>
Packaging, weight	5.7 kg (12.6 lb.)
Packaging, size	495 x 192 x 370 mm (19.49 x 7.56 x 14.57 in.)
EAN-13	7332558006511
UPC-12	845188006860
Country of origin	Sweden

### Supplies & accessories:

- 1196961; IR lens, f = 30 mm, 15° incl. case
- 1196960; IR lens, f = 10 mm, 45° incl. case
- T197215; Close-up 4x (100 µm) incl. case
- T197214; Close-up 2x (50 µm) incl. case
- T197408; IR lens, 76 mm (6") with case and mounting support for T/B-200/400
- T197412; IR lens, 4 mm (90") with case and mounting support for T/B2xx-4xx
- T197000; High temp. option +1200°C (+2192°F)
- T910814; Power supply, incl. multi plugs
- T197667; Battery package



## FLIR T420bx (incl. Wi-Fi)

P/N: 62103-1501

© 2015, FLIR Systems, Inc.

#62103-1501; r. /26732; en-US

- T197650; 2-bay battery charger, incl. power supply with multi plugs
- T196396ACC; Battery
- T911230ACC; Memory card SDHC 4 GB
- T910423; USB cable Std A <-> Mini-B
- T198509; Cigarette lighter adapter kit, 12 VDC, 1.2 m/3.9 ft.
- T910582ACC; Video cable
- T198370ACC; Hard transport case for FLIR T/B2xx-4xx
- T198495; Pouch for FLIR T6xx and T4xx series
- T124545; Pouch
- T198493; Sun shield
- T198499; Neck strap
- T197771ACC; Bluetooth Headset
- T911093; Tool belt
- 19250-100; IR Window 2 in.
- 19251-100; IR Window 3 in.
- 19252-100; IR Window 4 in.
- 19250-200; SS IR Window 2 in.
- 19251-200; SS IR Window 3 in.
- 19252-200; SS IR Window 4 in.
- T198586; FLIR Reporter Professional (license only)
- T198584; FLIR Tools
- T198583; FLIR Tools+ (license only)
- DSW-10000; FLIR IR Camera Player
- APP-10002; FLIR Tools Mobile (Android Application)
- APP-10004; FLIR Tools (MacOS Application)
- T198697; FLIR ResearchIR Max + HSDR 4
- T199014; FLIR ResearchIR Max + HSDR 4
- T199044; FLIR ResearchIR Max + HSDR 4 Upgrade
- T198696; FLIR ResearchIR Max 4
- T199013; FLIR ResearchIR Max 4
- T199043; FLIR ResearchIR Max 4 Upgrade
- T198731; FLIR ResearchIR Standard 4
- T199012; FLIR ResearchIR Standard 4
- T199042; FLIR ResearchIR Standard 4 Upgrade

## ANEXO A3: ENSAIOS TERMOGRÁFICOS DO EDIFÍCIO



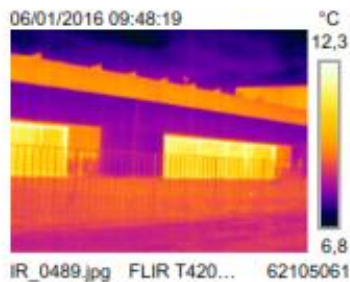
### Ensaio termográfico do edifício

#### E-01 Po

06/01/2016 09:48:19



DC\_0490...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	13 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	12 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

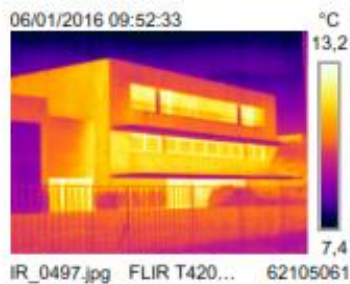
Bússola 183° S

#### E-02 Po

06/01/2016 09:52:33



DC\_0498...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	13 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	12 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

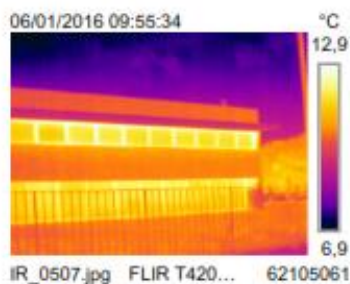
Bússola 157° SE

#### E-03 Po

06/01/2016 09:55:34



DC\_0508...



#### Parâmetros

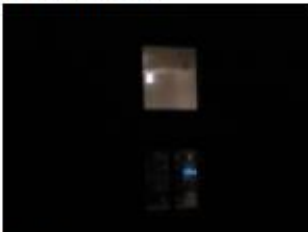
Emissividade	0.95
Temp. refl.	13 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	12 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

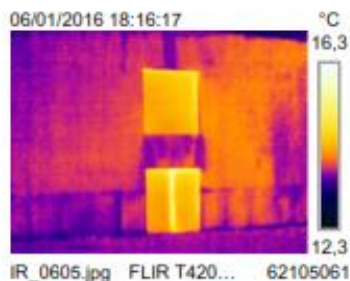
Bússola 137° SE

#### E-04 N

06/01/2016 18:16:17



DC\_0606...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	16 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	16 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	70 %

#### Geolocalização

Bússola 204° SO



## Ensaio termográficos do edifício

### E-05 S

06/01/2016 18:19:28



DC\_0614...

### E-06 Na

06/01/2016 18:18:18



DC\_0608...

### E-07 Na

06/01/2016 18:18:40



DC\_0612...

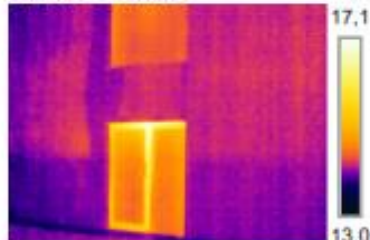
### E-08 Po

12/01/2016 17:20:33



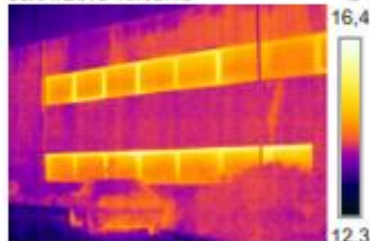
DC\_0674...

06/01/2016 18:19:28



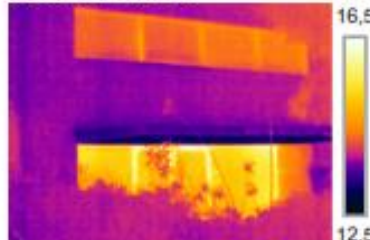
IR\_0613.jpg FLIR T420... 62105061

06/01/2016 18:18:18



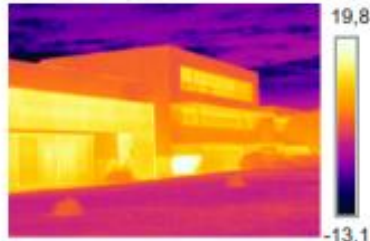
IR\_0607.jpg FLIR T420... 62105061

06/01/2016 18:18:40



IR\_0611.jpg FLIR T420... 62105061

12/01/2016 17:20:33



IR\_0673.jpg FLIR T420... 62105061

### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	16 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	16 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	70 %

### Geolocalização

Bússola 292° O

### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	16 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	16 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	70 %

### Geolocalização

Bússola 219° SO

### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	16 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	16 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	70 %

### Geolocalização

Bússola 247° SO

### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	11 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	10 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

### Geolocalização

Bússola 147° SE

## Ensaio termográficos do edifício

### E-09 Po

12/01/2016 17:20:24



DC\_0672...

### E-10 Po

12/01/2016 17:20:33



DC\_0674...

### E-11 Po

12/01/2016 17:20:55



DC\_0676...

### E-12 Po

12/01/2016 17:22:00



DC\_0680...

12/01/2016 17:20:24



IR\_0671.jpg FLIR T420... 62105061

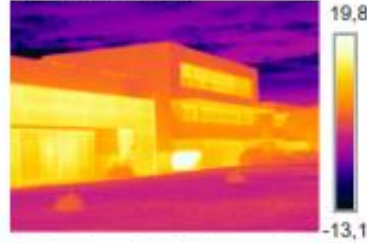
### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	11 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	10 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

### Geolocalização

Bússola 134° SE

12/01/2016 17:20:33



IR\_0673.jpg FLIR T420... 62105061

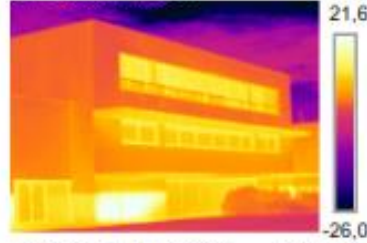
### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	11 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	10 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

### Geolocalização

Bússola 147° SE

12/01/2016 17:20:55



IR\_0675.jpg FLIR T420... 62105061

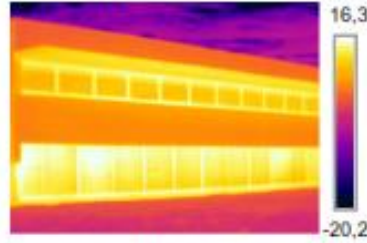
### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	11 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	10 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

### Geolocalização

Bússola 118° SE

12/01/2016 17:22:00



IR\_0679.jpg FLIR T420... 62105061

### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	11 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	10 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

### Geolocalização

Bússola 112° E

## Ensaio termográficos do edifício

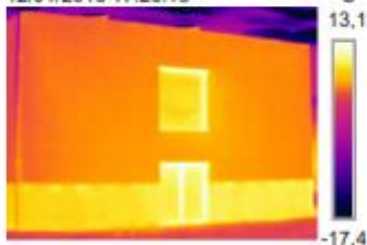
### E-13 N

12/01/2016 17:26:13



DC\_0682...

12/01/2016 17:26:13



IR\_0681.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	10 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	9 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

#### Geolocalização

Bússola 239° SO

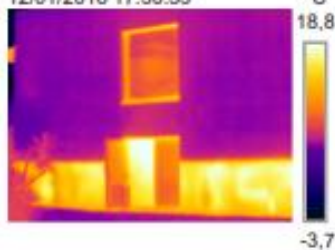
### E-14 S

12/01/2016 17:30:53



DC\_0696...

12/01/2016 17:30:53



IR\_0695.jpg FLIR T42... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	10 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	9 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

#### Geolocalização

Bússola 239° SO

### E-15 Na

12/01/2016 17:26:48



DC\_0686...

12/01/2016 17:26:48



IR\_0685.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	10 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	9 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

#### Geolocalização

Bússola 239° SO

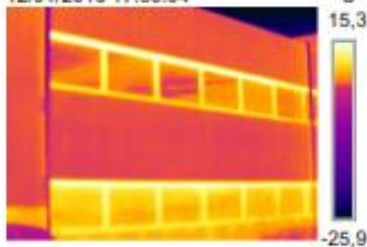
### E-16 Na

12/01/2016 17:30:04



DC\_0692...

12/01/2016 17:30:04



IR\_0691.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	10 °C
Distância	15 m
Temp. atmosférica	9 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	55 %

#### Geolocalização

Bússola 239° SO



## Ensaio termográficos do edifício

### I-01 Po 26

06/01/2016 10:40:51



DC\_0516....

### I-02 Po 26

06/01/2016 10:35:33



DC\_0510....

### I-03 Po 26

06/01/2016 10:37:07



DC\_0512....

### I-04 C 26

06/01/2016 10:47:04



DC\_0520....

06/01/2016 10:40:51



IR\_0515.jpg FLIR T420... 62105061

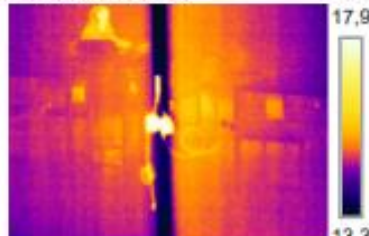
### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	15 °C
Distância	20 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	61 %

### Geolocalização

Bússola 244° SO

06/01/2016 10:35:33



IR\_0509.jpg FLIR T420... 62105061

### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	15 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	61 %

### Geolocalização

Bússola 203° SO

06/01/2016 10:37:07



IR\_0511.jpg FLIR T420... 62105061

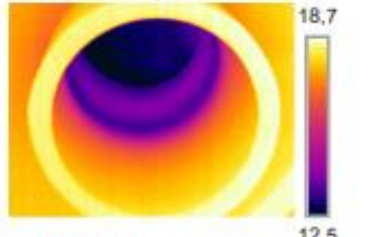
### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	15 °C
Distância	6 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	61 %

### Geolocalização

Bússola 297° NO

06/01/2016 10:47:04



IR\_0519.jpg FLIR T420... 62105061

### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	15 °C
Distância	6 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	61 %

### Geolocalização

Bússola 252° O

## Ensaio termocráfico do edifício

### I-05 Na C N 26

06/01/2016 11:01:46



DC\_0542...

### I-06 Po 14

06/01/2016 11:41:11



DC\_0550...

### I-07 Po 36

06/01/2016 12:01:46



DC\_0564...

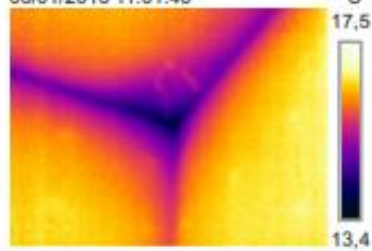
### I-08 C 59

06/01/2016 11:55:26



DC\_0556...

06/01/2016 11:01:46



IR\_0541.jpg FLIR T420... 62105061

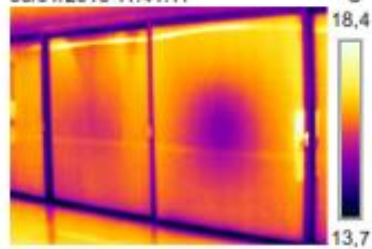
### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	16 °C
Distância	5 m
Temp. atmosférica	18 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	63 %

### Geolocalização

Bússola 356° N

06/01/2016 11:41:11



IR\_0549.jpg FLIR T420... 62105061

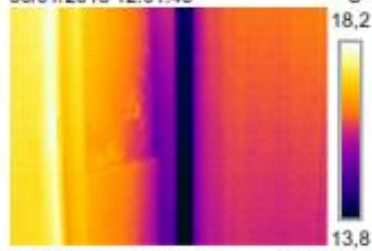
### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	16 °C
Distância	5 m
Temp. atmosférica	18 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	62 %

### Geolocalização

Bússola 224° SO

06/01/2016 12:01:46



IR\_0563.jpg FLIR T420... 62105061

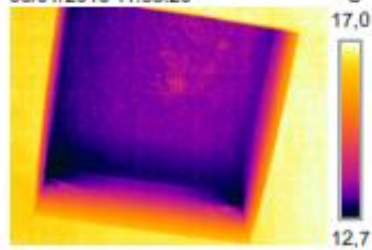
### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	16 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

### Geolocalização

Bússola 114° SE

06/01/2016 11:55:26



IR\_0555.jpg FLIR T420... 62105061

### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	16 °C
Distância	6 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

### Geolocalização

Bússola 137° SE

## Ensaio termográficos do edifício

### I-09 Po 36

06/01/2016 12:01:46



DC\_0564...

### I-10 Po 36

06/01/2016 12:01:34



DC\_0562...

### I-11 Na 48

06/01/2016 12:03:51



DC\_0566...

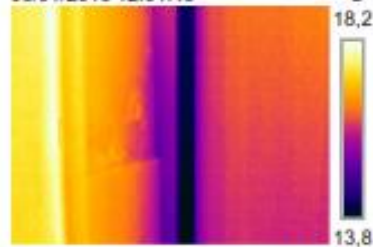
### I-12 Na 61

06/01/2016 12:16:32



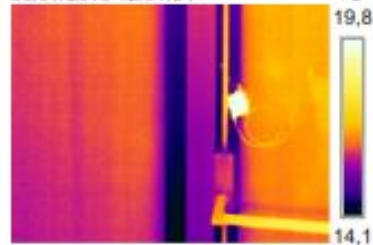
DC\_0584...

06/01/2016 12:01:46



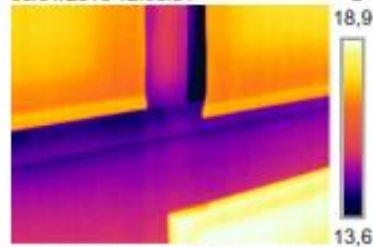
IR\_0563.jpg FLIR T420... 62105061

06/01/2016 12:01:34



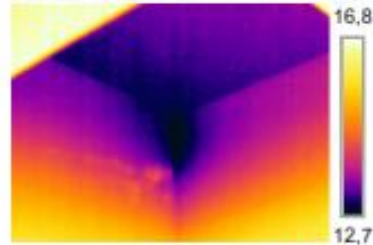
IR\_0561.jpg FLIR T420... 62105061

06/01/2016 12:03:51



IR\_0565.jpg FLIR T420... 62105061

06/01/2016 12:16:32



IR\_0583.jpg FLIR T420... 62105061

### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	16 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

### Geolocalização

Bússola	114° SE
---------	---------

### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	16 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

### Geolocalização

Bússola	140° SE
---------	---------

### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	16 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

### Geolocalização

Bússola	99° E
---------	-------

### Parâmetros

Emissividade	0.97
Temp. refl.	13 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

### Geolocalização

Bússola	97° E
---------	-------



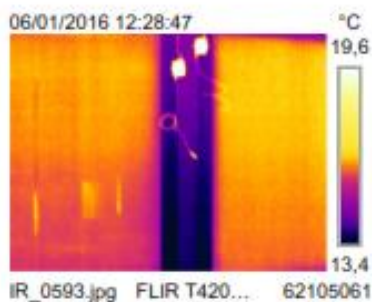
## Ensaio termográficos do edifício

### I-13 Po 67

06/01/2016 12:28:47



DC\_0594...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	13 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

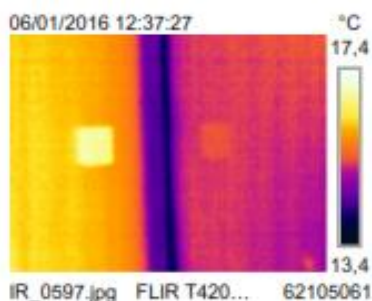
Bússola 280° O

### I-14 S 63

06/01/2016 12:37:27



DC\_0598...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	15 °C
Distância	1 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

#### Geolocalização

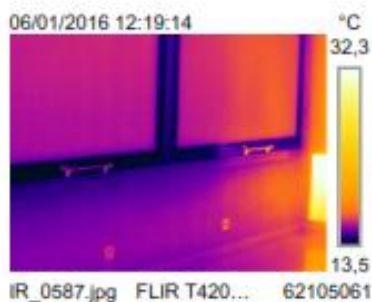
Bússola 123° SE

### I-15 Po 67

06/01/2016 12:19:14



DC\_0588...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	13 °C
Distância	5 m
Temp. atmosférica	17 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	75 %

#### Geolocalização

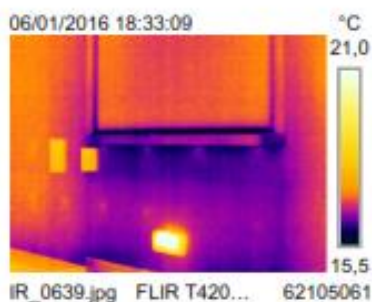
Bússola 303° NO

### I-16 N 26

06/01/2016 18:33:09



DC\_0640...



#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	17 °C
Distância	6 m
Temp. atmosférica	21 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	63 %

#### Geolocalização

Bússola 290° O

## Ensaio termográficos do edifício

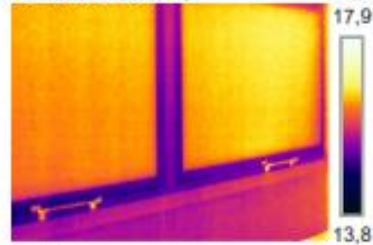
### I-17 Po 68

06/01/2016 18:47:47



DC\_0660...

06/01/2016 18:47:47



IR\_0659.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	15 °C
Distância	3 m
Temp. atmosférica	21 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	63 %

#### Geolocalização

Bússola 309° NO

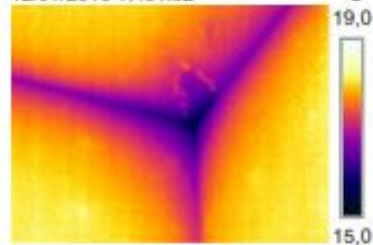
### I-18 Na C N 26

12/01/2016 17:51:02



DC\_0714...

12/01/2016 17:51:02



IR\_0713.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	18 °C
Distância	4 m
Temp. atmosférica	21 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

Bússola 349° N

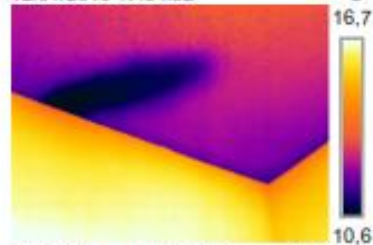
### I-19 C 59

12/01/2016 17:54:32



DC\_0724...

12/01/2016 17:54:32



IR\_0723.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	18 °C
Distância	4 m
Temp. atmosférica	21 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

Bússola 331° NO

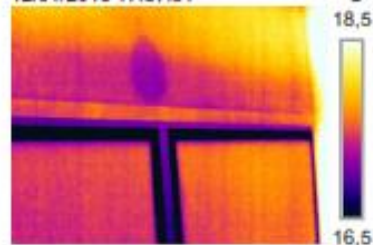
### I-20 Po 68

12/01/2016 17:57:51



DC\_0732...

12/01/2016 17:57:51



IR\_0731.jpg FLIR T420... 62105061

#### Parâmetros

Emissividade	0.95
Temp. refl.	18 °C
Distância	4 m
Temp. atmosférica	21 °C
Temp. da óptica ext.	20 °C
Trans. da óptica ext.	1
Humidade relativa	67 %

#### Geolocalização

Bússola 304° NO



ANEXO A4: RELATÓRIO TERMOGRÁFICO (thya-thermographie)



## **THERMOGRAPHIE DU BATIMENT**

### **RAPPORT D'ANALYSE THERMOGRAPHIQUE D'UNE MAISON**

**Rapport n° : 20101018-1**

**Client : Monsieur et Madame XXXXXXXXX**

**Date : 18/10/2010**

**Pour l'entreprise intervenante :**

Examen thermographique effectué par : **L.LECLERCQ**

Rédaction du rapport thermographique : **L.LECLERCQ**

Signature de l'opérateur :

Cachet de l'entreprise intervenante :

**THYA THERMOGRAPHIE**

Ferme de Behaine

02250 Marle

Tel : 03.23.23.47.55

Siret: 48956950900024 - APE : 7120B

[l.leclercq@thya-thermographie.fr](mailto:l.leclercq@thya-thermographie.fr)

## Références

### Modèle et caractéristiques de la caméra et des logiciels utilisés :

Une caméra de marque **FLIR** modèle **T335**, dite caméra à ondes longues.

N° de série **456001423**.

Caméra étalonnée le **12 mai 2010**.

- Gamme de température : **-20 à 650°C**,
- Détecteur microbolomètre non refroidi de **320×240 pixels**,
- Objectif champ optique standard : **25°×19° à 0,4m**,
- IFOV : **1,36 mrd**,
- Bande spectrale : **7,5 à 13 micromètres**,
- Résolution thermique : **0,05°C à 30°C**,
- Distance de focalisation de **30cm à l'infini** avec une mesure à un mètre en générale sauf indication contraire sur le rapport,
- Stockage numérique sur **carte mémoire SD**,
- Appareil photo numérique intégré **3,1 Méga pixels**,
- Ecran couleur.

Une chaîne d'acquisition et de traitement thermique par le logiciel **FLIR Quickreport 1.2**.

L'émissivité de la caméra a été réglée sur **0,9** pour l'analyse extérieure et **0,75** pour l'analyse intérieure.

Le traitement informatique des thermogrammes permet éventuellement de modifier cette émissivité si les besoins s'en faisaient sentir.

### Nom de l'opérateur :

L'opérateur était **Monsieur Laurent LECLERCQ**.

### Certificat d'étalonnage de la caméra :





**Données préliminaires**

**Date ou période du contrôle :**

Le contrôle de votre habitation a été réalisé le **18 octobre 2010 à 17h.**

**Adresse de l'habitation concernée :**

19, rue de la xxxxxx

02XXX XXXXX

**Météorologie :**

Température de l'air : 7°C

Temps sec et couvert, absence de soleil.

**Données concernant l'habitation :**

Date de construction : environ 1960.

Nature des matériaux de construction : principalement briques, crépis sur la façade Sud.

Toiture en ardoises.

Isolation intérieure : Plaques de Placoplatre BA13+Laine de verre.

Chauffage : Convecteurs électriques pour une puissance totale de 13,5KW (6KW au rez-de-chaussée et 7,5KW à l'étage).

Température intérieure de l'habitation : 19 à 20°C

Habitation complètement rénovée en 2007.



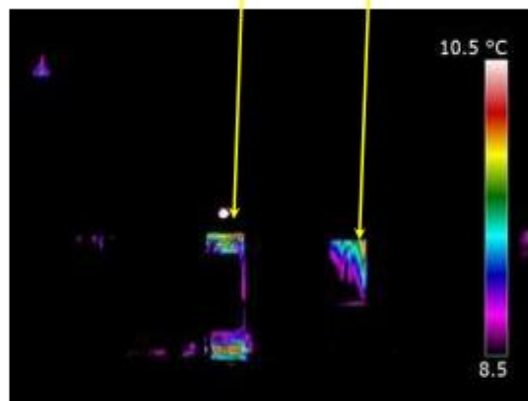
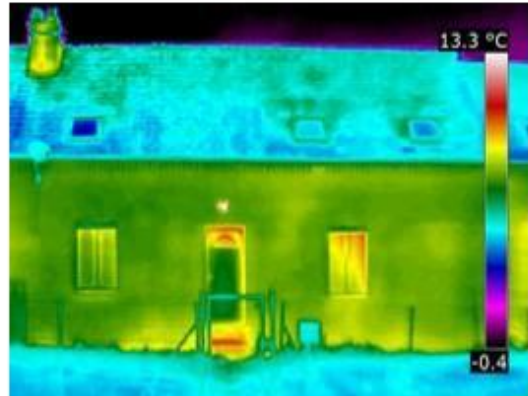
### Façade SUD

#### Analyse et commentaires :

- Peu de déperditions au niveau de la toiture.
- Peu de déperditions au niveau de la façade proprement dite.
- Peu de déperditions au niveau de la fenêtre de la cuisine (mais pièce moins chauffée que le séjour).
- Déperdition importante au niveau de la porte d'entrée, celle-ci présente une isolation qui ne couvre pas la totalité de la porte et reste inégalement répartie.
- Légère déperdition au niveau du coin supérieur gauche de la fenêtre du séjour.

#### Recherche des zones de déperditions extrêmes :

- Les zones de déperditions extrêmes se situent au niveau de la porte d'entrée et de la fenêtre du séjour.

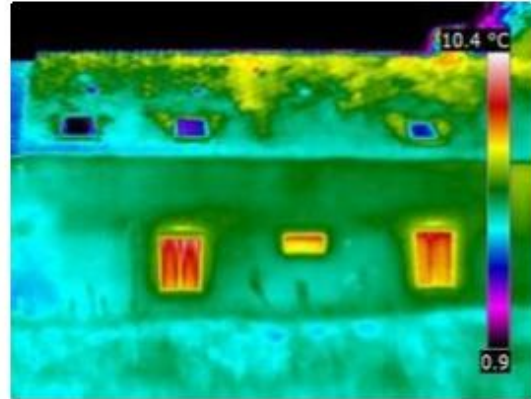




Façade NORD

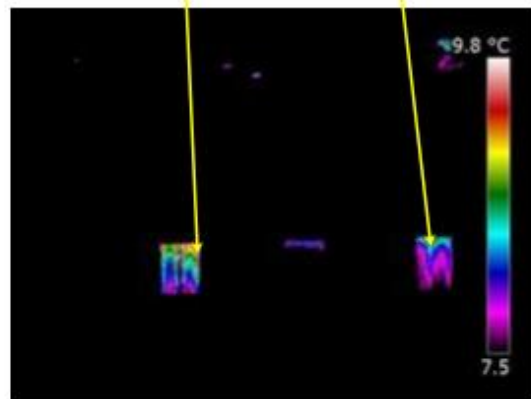
**Analyse et commentaires :**

- Peu de déperditions au niveau de la toiture.
- Peu de déperditions au niveau de la façade mais on peut constater que les briques possèdent des qualités isolantes légèrement meilleures que la pierre.
- Comme sur la façade Sud, les déperditions sont localisées au niveau de la fenêtre de la cuisine et de la fenêtre du séjour.



**Recherche des zones de déperditions extrêmes :**

- Les déperditions extrêmes se situent au niveau des fenêtres du séjour et de la cuisine.

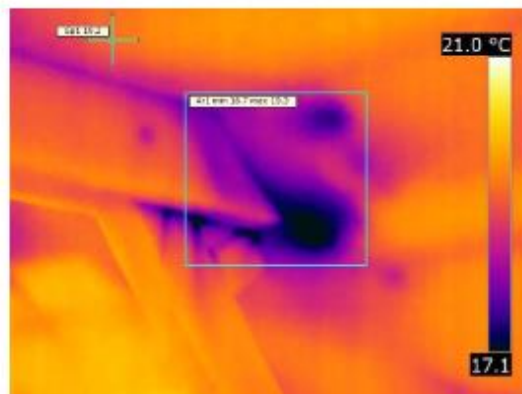




1<sup>er</sup> étage - Paller

Fiche N°1

Distance de prise de vue (en m)	1
Emissivité	0,75
Angle de l'objectif (°)	25
T° réfléchie (°C)	19
T° minimale observée (°C) (T min)	16,9
T° scène thermique (°C) (T scène)	19,2
$\Delta T$ (°C) T scène – T min	2,3



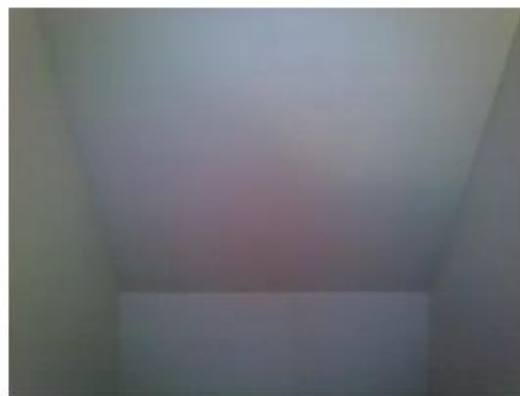
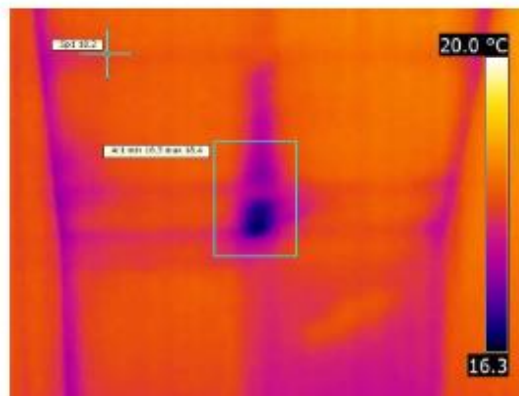
<b>Constat</b>	Zones froides à la base du coffrage.
<b>Analyse</b>	Manque d'isolant.
<b>Action préconisée</b>	Vérifier dans le grenier la présence et le bon positionnement de la laine de verre à cet endroit.



1<sup>er</sup> étage – Montée d'escalier

Fiche N°2

Distance de prise de vue (en m)	1
Emissivité	0,75
Angle de l'objectif (°)	25
T° réfléchie (°C)	19
T° minimale observée (°C) (T min)	16,5
T° scène thermique (°C) (T scène)	18,2
$\Delta T$ (°C) T scène – T min	1,7



<b>Constat</b>	Zone froide à la jonction des 2 plaques de placoplatre.
<b>Analyse</b>	L'isolant n'est pas en place à cet endroit.
<b>Action préconisée</b>	Si l'accès dans le grenier le permet, renforcer l'isolation en ce point.

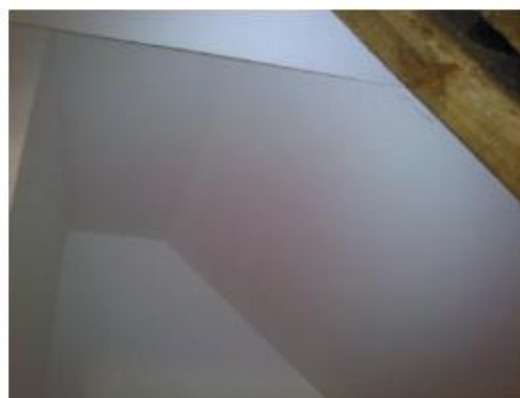
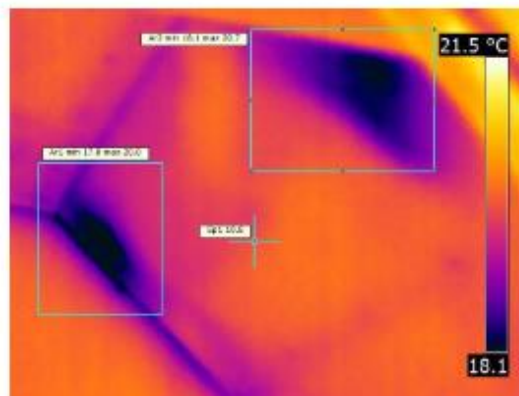




1<sup>er</sup> étage – Chambre Nicolas

Fiche N°3

Distance de prise de vue (en m)	1
Emissivité	0,75
Angle de l'objectif (°)	25
T° réfléchie (°C)	19
T° minimale observée (°C) (T min)	17,8
T° scène thermique (°C) (T scène)	19,8
$\Delta T$ (°C) T scène – T min	2



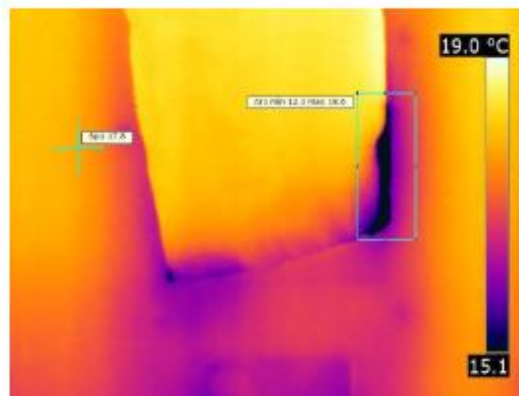
<b>Constat</b>	2 zones froides au dessus du bureau de Nicolas.
<b>Analyse</b>	Manque d'isolant en ces 2 zones.
<b>Action préconisée</b>	Vérifier dans le grenier la présence et le bon positionnement de la laine de verre à cet endroit.



1<sup>er</sup> étage – Chambre Julie

Fiche N°4

Distance de prise de vue (en m)	1
Emissivité	0,75
Angle de l'objectif (°)	25
T° réfléchie (°C)	19
T° minimale observée (°C) (T min)	12,1
T° scène thermique (°C) (T scène)	17,8
$\Delta T$ (°C) T scène – T min	5,7



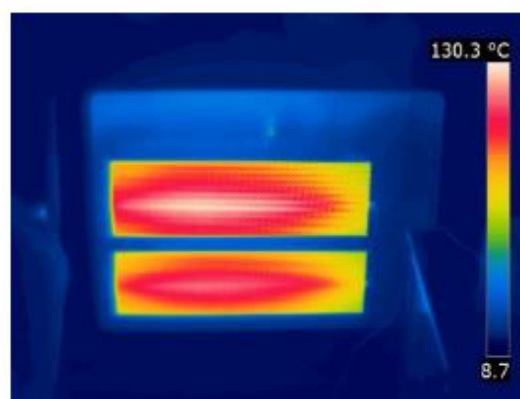
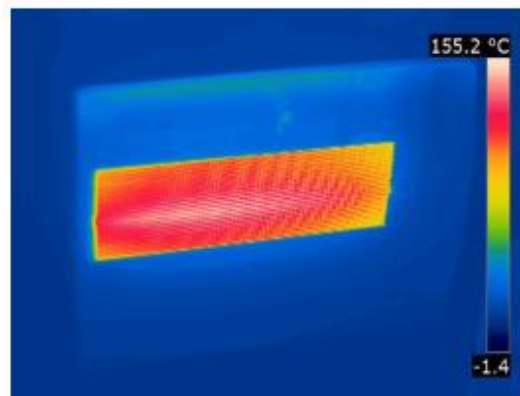
<b>Constat</b>	Apport d'air froid venant du grenier.
<b>Analyse</b>	La découpe de la plaque de placoplâtre n'est pas ajustée au contour de la poutre, manque d'enduit.
<b>Action préconisée</b>	Boucher avec un enduit approprié cet orifice.



1<sup>er</sup> étage – Chambre Julie

Fiche N°5

Distance de prise de vue (en m)	1
Emissivité	0,85
Angle de l'objectif (°)	25
T° réfléchie (°C)	19
T° minimale observée (°C) (T min)	SO
T° scène thermique (°C) (T scène)	SO
$\Delta T$ (°C) T scène – T min	SO



<b>Constat</b>	Panne d'un élément de chauffage du convecteur.
<b>Analyse</b>	Dans la chambre de Nicolas (photo du bas), le convecteur fonctionne correctement: les deux éléments de chauffage sont alimentés. Dans la chambre de Julie (photo du haut), le convecteur fonctionne à 50% alors que ces 2 éléments sont alimentés simultanément en TOR.
<b>Action préconisée</b>	Dépanner ou remplacer le convecteur.



## Synthèse

### Analyse extérieure :

- L'analyse thermographique nous permet de dire que l'isolation de la maison est bonne, pas de perte importante de chaleur par les façades ni par le toit. Renforcer l'isolation de la porte ou mettre en place un rideau devant celle-ci.

### Analyse intérieure :

- Rez-de-chaussée : pas de problème décelé, l'isolation est bonne voir très bonne. Le double vitrage des fenêtres remplit parfaitement son rôle. Pas de pont thermique au niveau des poutres. Laisser tourner la VMC en permanence.
- 1er étage : L'isolation est bonne malgré la présence de quelques zones froides (fiches 1,2 et 3), vérifier, si possible, le bon positionnement de la laine de verre dans le grenier à ces endroits. Dans la chambre de Julie, reboucher l'orifice autour de la poutre (fiche 4) et remplacer le convecteur qui ne fonctionne qu'à 50% de sa capacité totale (fiche 5). Pas d'anomalie majeure dans la salle d'eau, ni dans la chambre des parents.

